



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

Análisis de los Períodos Dominantes de Vibración entre Suelo y Estructura en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN- Managua.

Para optar al Título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br.Ethel del Socorro González Martínez.

Br. Katia Massiel López Vargas.

Br. Karina de los Ángeles Moscoso Sandoval.

Tutor

Msc. Xochilt Esther Zambrana Areas.

Instituto de Geología y Geofísica, UNAN-Managua

Asesores

Dr. Edwin Obando.

Instituto de Geología y Geofísica, UNAN-Managua

Ing. Alfonso Jerez Fernández

Universidad Nacional de Ingeniería

Managua, Mayo 2017.



UNAN-Managua

Instituto de Geología y Geofísica



IGG-CIGEO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA

"Año de la Universidad Emprendedora"


Managua, 10 de Mayo del 2017.

Doctor
Oscar Gutiérrez Somarriba.
Decano.
Facultad de la Tecnología de la Construcción.
Universidad Nacional de Ingeniería.

Estimado Doctor Gutiérrez:

Es de mi agrado informarle que la tesis titulada "Análisis de los Periodos Dominantes de Vibración entre Suelo y Estructura en el Recinto Universitario Ruben Dario de la UNAN-Managua", elaborada por las bachilleres; Ethel del Socorro González Martinez, Katia Massiel López Vargas y Karina de los Ángeles Moscoso Sandoval. Ha sido finalizada y revisada incorporando las recomendaciones del jurado examinador sugeridas en la pre-defensa monográfica del día 3 de mayo del presente año, por la cual otorgo mi aprobación para que sea entregada y realizar los trámites correspondientes para defensa final del trabajo monográfico.

Sin más que hacer referencias, me despido deseando éxitos en sus labores.

Ateñamente

Msc. Xochilt Zambrana
Tutor de Tesis.
Docente-Investigador
IGG-CIGEO/UNAN-Managua

Cc:
Ethel del Socorro González Martinez.
Katia Massiel López Vargas.
Karina de los Ángeles Moscoso Sandoval.
Archivo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.0111
Managua, Octubre 04 del 2016

Bachilleres

ETHEL DEL SOCORRO GONZÁLEZ MARTÍNEZ
KATIA MASSIEL LÓPEZ VARGAS
KARINA DE LOS ÁNGELES MOSCOSO SANDOVAL
Su atención

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRAFICO**, titulado **"ANÁLISIS DE LOS PERÍODOS DOMINANTES DE VIBRACIÓN ENTRE SUELO Y ESTRUCTURA EN EL RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO DE LA UNAN-MANAGUA"**. Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que el **Msc. Xochilt Esther Zambrana** Sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el **04 de Abril del 2017**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
IJGG*Dara

DEDICATORIAS

Katia Massiel López Vargas

*A **Dios**, sin la ayuda de él nada es posible.*

*A Mis **Padres** Juan López y Lilliam Vargas por inculcarme el amor al estudio y enseñarme a luchar por todo aquello que se quiere.*

*A mi **Hermana** Damaris López por su apoyo incondicional.*

*A mi **Abuelo** Juan Vargas por el conocimiento brindado y por sus palabras de aliento “El valor de las personas está en el conocimiento. El que Nada Sabe, Nada Vale”.*

A mis familiares, amigos y todas aquellas personas que han formado parte de mí vida a lo largo de mi desarrollo como profesional.

Ethel González Martínez

A Dios por darme la luz para mi crecimiento intelectual y permitirme disfrutar junto con mis compañeras esta experiencia de aprendizaje. A mi familia con un profundo agradecimiento a su esfuerzo, amor, paciencia y comprensión durante toda mi formación tanto personal como profesional.

Karina Moscoso Sandoval.

*Dedico este trabajo a **Dios** por ser la luz de mi camino.*

*A mis padres **Martha Sandoval y Carlos Moscoso** quienes me han apoyado a lo largo de mi vida dando lo mejor de sí para conmigo, sin ustedes no pudiera ser la persona que soy, gracias por su apoyo incondicional.*

*A mis **tías** (Zoyla, Julieta, Ana, Rosa) y demás familiares quienes me apoyaron y brindaron su cariño a lo largo de mi camino de formación profesional.*

AGRADECIMIENTOS

Ethel González – Katia López – Karina Moscoso

A Dios todopoderoso por no desamparnos en ningún momento y darnos la oportunidad de culminar nuestra formación profesional.

A nuestras familias por el apoyo y comprensión incondicional, en el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO) de la UNAN-Managua, por habernos facilitado los profesionales, los equipos y los datos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Al Msc. Claudio Romero director del Instituto de Geología y Geofísica por sus valiosos aportes y recomendaciones en la realización de este trabajo de tesis.

Al proyecto “Estudio de Efecto de Sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua”, que ha sido financiado por la Convocatoria Fondos de Investigación (FPI) de la UNAN-Managua, de docente-investigador, y que ha sido ejecutado por la Msc. Xochilt Zambrana del Instituto de Geología y Geofísica de la UNAN-Managua. En este proyecto de investigación se nos ha permitido la adquisición de datos para el desarrollo de la tesis monográfica.

A nuestra tutora Msc. Xochilt Esther Zambrana Áreas por su apoyo incondicional, su dedicación y su colaboración siempre presente a lo largo de este tiempo.

A nuestros asesores el Dr. Edwin Obando y el Ing. Alfonso Jerez Fernández por sus aportes y sugerencias para el desarrollo de nuestro trabajo.

Al Msc. Edwin Nadir Castrillo por su ayuda, quien amablemente proporcionó el código de programa lo cual sirvió de apoyo técnico para la generación e interpretación de los espectros de respuesta del sitio.

A todos infinitas gracias.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo está orientado a conocer los modos de vibrar del suelo y estructura del Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la UNAN-Managua ante un evento sísmico. El estudio se llevó a cabo en un área de 23.6 Ha, mediante la aplicación de la técnica de Nakamura a partir de mediciones de ruido ambiental (microtremores), cuya información es una herramienta eficaz para la caracterización dinámica del suelo y de facilitar información base para la microzonificación sísmica detallada del sitio y evaluar la amenaza sísmica local.

Como resultado de la aplicación de la técnica del cociente espectral H/V se presentan las Funciones de Transferencia Empíricas (FTE) estimadas para un total de 109 puntos de medición realizadas en el sitio, detallándose el procedimiento empleado para la determinación de los períodos dominantes (T_0) y las amplificaciones relativas (A_0) de los suelos y estructura. Adicionalmente se obtuvo un mapa de microzonificación dinámica de los suelos donde se detalla dos microzonas con efecto sitio en la zona de estudio y se estimaron dos modelos de velocidad de ondas sísmicas donde se muestra parámetros dinámicos-físicos del sub-suelo: espesores, velocidades de la onda de corte V_s , velocidad de onda V_p y densidades.

Estimando la velocidad promedio de la Onda Corte (V_s) de los dos modelos sísmicos obtenidos de subsuelo se comparó con el reglamento nacional de la construcción (RNC-07) y se estiman que los suelos en la zona son de tipo III que de acuerdo al reglamento corresponden a suelos moderadamente blandos para rangos de velocidad de corte $180\text{m/s} \leq V_s \leq 360\text{m/s}$. En base a los parámetros dinámicos de los suelos se logró obtener espectro elástico de respuesta de sitio usando el registro sísmico del terremoto de Managua de 1972, los resultados muestran que el espectro de diseño del RNC-07 sobreestima las aceleraciones espectrales de sitio por ende se generaron cuatro espectros alternativos para considerarse en las futuras construcciones en la zona de estudio.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 ANTECEDENTES	4
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.5 JUSTIFICACIÓN	8
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
2.1 GENERALIDADES	9
2.2 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
2.3 MARCO TECTÓNICO Y SISMICIDAD.....	14
2.3.1 Marco tectónico regional.	14
2.3.2 Características sismo tectónicas.....	15
2.4 MARCO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL.....	16
2.5 FALLAS GEOLÓGICAS	17
2.6 TERREMOTOS HISTÓRICOS.....	19
2.7 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL SITIO.....	23

CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA	25
3.1 ONDAS SÍSMICAS	25
3.2 MICROTREMORES.....	28
3.3 EFECTO DE SITIO	29
3.4 EVALUACIÓN DE EFECTO DE SITIO.....	33
3.5 TÉCNICA DE NAKAMURA	34
3.6 MÉTODO DE HASKELL.....	38
3.7 VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE (VS).....	39
3.8 ESPECTRO DE RESPUESTA	41
3.8.1 Espectro de respuesta de deformación	42
3.8.2 Espectro de respuesta de pseudo- velocidad.....	43
3.8.3 Espectro de respuesta de pseudo- Aceleración.	44
3.8.4 Espectro de repuesta combinado (D-V-A).....	44
3.8.5 Espectros de diseño	45
CAPÍTULO IV. INSTRUMENTACIÓN Y TRABAJO DE CAMPO.	47
4.1 EQUIPO DE MEDICIÓN.....	47
4.2 TRABAJO DE CAMPO.....	48
CAPÍTULO V. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.	52
5.1 PROCESADO DE DATOS.....	52
5.1.1 Registros de microtemores	52
5.1.2 Determinación de la función de transferencia empírica (FTE).	54
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
5.2.1 Clasificación dinámica y agrupación de familias de curvas de las funciones de transferencia empíricas (FTE).....	57
5.2.2 Micro-zonificación dinámica de los suelos del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua.	60

5.2.3 Determinación de modelo de velocidades V_s y V_p .	62
5.2.4 Determinación de períodos dominantes en las edificaciones	65
5.2.5 Cálculo de espectro de respuesta de sitio.	74
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	I
ANEXO 1. CURVAS DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EMPÍRICA H/V	II
ANEXO 2. CURVAS DE FUNCION DE TRANSFERENCIA EMPIRICA (ESTRUCTURAS)	XX
ANEXO 3. INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE SUELO APARTIR DE LOS MODELOS DE VELOCIDADES (V_s).	XXIV
ANEXO 4. VALORES DE F_0 , T_0 , A_0 , COORDENADAS Y OBSERVACIONES DE MICROTREMORES EN EL RURD.	XXVI

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

En zonas de alto riesgo sísmico es indispensable llevar a cabo estudios del comportamiento sísmico del suelo y poder evaluar los efectos secundarios que podrían desencadenarse a raíz de un sismo, como por ejemplo la amplificación del terreno al paso de la onda sísmica y que podría provocar el daño en las edificaciones, y el colapso de estas causando pérdidas económicas y de vidas humanas.

Nicaragua se encuentra ubicada en una zona tectónicamente activa generando una intensa sismicidad y por ende un alto grado de fallamiento local como es el caso en la ciudad de Managua. El estudio de las condiciones geológicas locales y de efecto de sitio ha sido una de las herramientas más importantes para evaluar y predecir el comportamiento dinámico de los suelos, cuya información es de gran interés en el campo de la ingeniería para la planificación de obras civiles en zonas de alta amenaza sísmica como es la ciudad capital.

La historia ha puesto en evidencia las capacidades destructivas de los eventos sísmicos sobre las edificaciones, un ejemplo de esto ocurrió en Managua el 23 de diciembre de 1972, donde se originó un terremoto de magnitud 6.2 ML, en la cual más de 10,000 personas resultaron muertas, afectando totalmente la economía del país. Actualmente, Managua, por sus condiciones geológicas es considerada una de las ciudades más vulnerables del país ante las diferentes amenazas geológicas.

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua, es localizada en el casco urbano de la ciudad de Managua, es una de las universidades más importante y grande del país. Esta institución atiende a un gran número de personas, refiriéndose a más de 40,000 estudiante. El Recinto Universitario

Rubén Darío de la UNAN-Managua (RURD-UNAN), fue fundado en abril de 1969. Los tipos de edificaciones que se encuentran en el RURD, son infraestructuras desde una a tres niveles, entre ellos: pabellones, auditorios, laboratorios de medicina, laboratorios de radiación, laboratorios de microbiología, oficinas, Institutos de Investigación, centros de documentación entre otros tipos de estructuras.

En la presente investigación se realizará un estudio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua, que aproximadamente abarca un área de 23,6 hectáreas, con el objetivo de estudiar el comportamiento dinámico del suelo y estructura, para evaluar el grado de peligrosidad ante un evento sísmico y mitigar los daños posibles y aportar información base del suelo tales como; periodos y frecuencias de vibración, amplificaciones del suelo, que sea útil para la planificación de futuras construcciones el área del Recinto. Cabe destacar que se hará uso de la Técnica de Nakamura para determinar si hay efecto de sitio en la zona y de esta manera estimar modelos de velocidad del subsuelo, lo cuales, serán base para la estimación de espectro de diseños según el tipo de suelo en la zona de estudio.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La UNAN-Managua es una universidad que tiene una gran demanda estudiantil por tal razón está creciendo en laboratorios y en edificaciones para brindar un mejor servicio e infraestructura para los futuros profesionales del país.

Actualmente el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua, no cuenta con un estudio de caracterización de dinámica del suelo y de zonificación sísmica que sea base para la adecuada planificación de obras civiles en el recinto universitario.

El área de estudio se encuentra ubicado en un zona de alta peligrosidad sísmica, por la cercanía de una falla geológicamente activa, como lo es la falla de Zogaib, la cual se orienta Norte-Sur, con una longitud de 10 km, dicha falla pudiera ser fuente de sismicidad y por las condiciones locales del sitio es posible la amplificación de la ondas sísmicas en el suelo.

El presente estudio aporta información de parámetros dinámicos del suelo y de la estructura o el modelo de velocidad de onda de la onda de corte (V_s), dichos modelos son una de las herramientas más utilizadas en la actualidad para la predicción del movimiento sísmico del subsuelo y son de gran interés en el campo de la ingeniería para la planificación de obras civiles.

1.3 ANTECEDENTES

Son pocas las investigaciones realizadas y relacionadas con el presente tema de trabajo de tesis. Los estudios que existen son de caracterización del suelo desde el punto de vista geotécnico y algunos trabajos geofísicos y geológicos que se ha realizado en la zona.

En este trabajo monográfico se ha retomado como base investigaciones realizadas en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN–Managua, entre los más importantes se mencionan:

El Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) (2004), realizó un estudio geotécnico al este de la actual Residencia Arlen Siu, para la construcción de nuevas residencias de una sola planta, se realizaron sondeos de hasta 8m de profundidad en el cual se identificaron suelos areno limoso y areno arcilloso, predominando los areno limoso, con condiciones mecánicas variable y compacidad de suelta a densa. Las propiedades índices de estos suelos indican plasticidades que oscilan de media a nula.

Dos años después, el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) (2006), llevó a cabo investigaciones para el proyecto “ Construcción del edificio del IGG-CIGEO” por ser una obra de uso público de categoría B (edificaciones importantes), fue necesario realizar estudios geotécnicos para lo cual se ha realizado varios sondeos siendo el de mayor profundidad de 10.25 m en los que se destaca que los suelos predominantes en la zona son de tipo SC-SM-SP (Areno-arcilloso, Arenas limosas, Areno gravoso).

En el 2008, el **Br. Samuel Sevilla Cano** realizó su trabajo monográfico titulado como “Caracterización de sitio para la instalación de un arreglo vertical de monitoreo sísmico en la UNAN-Managua”. En esta investigación la caracterización geológica y geotécnica que se realizó dio como resultado una columna estratigráfica de 100 m, compuesta por limos inorgánicos con alto

porcentaje de arena y arena con alto contenido de limos entre 22 y 49% según el sistema unificado de suelos SUCS.

En el 2012, **Edwin Nadir Castrillo Osorio**, desarrolló el estudio titulado "Caracterización de periodos fundamentales de vibración en el antiguo sector central de Managua, basado en microtemores de periodo largo". En este estudio se determinó una sola zona con periodos fundamentales de 0.18 a 0.22 s. Sin embargo por primera vez también se identificó en este estudio, un periodo aparente en el rango de 7 a 10 s.

Recientemente, el Instituto de Geología y Geofísica (**IGG-CIGEO/UNAN-Managua**) (**2016**), realizó un estudio geotécnico en el área donde se proyecta la construcción de un edificio de 4 niveles de la Facultad de Ciencias Económicas. Dicha investigación, señala que la capa superficial de la zona corresponde a un suelo limoso con compresibilidad de baja a media (ML) y de coloración café oscuro, su consistencia de suelta a intermedia. Subyaciendo a este, se encuentra una capa arcillosa de baja compresibilidad (CL) y por debajo de este estrato se encuentra un suelo areno limoso (SM). También, se hace mención que los tipos de suelos superficiales son de plasticidad baja y los suelos a mayor profundidad son suelos no plásticos. Considerándose sondeos con profundidades de hasta 10m.

Posteriormente, el **Br. Kevin Deybi Castro Romero y Br. Greybin Josué Borge Castro (2016)**, elaboró un trabajo monográfico titulado "Análisis de riesgo sísmico en el Recinto Universitario "Rubén Darío" de la UNAN-Managua, utilizando la herramienta de estimación de pérdidas S.E.L.E.N.A." Esta investigación presenta el análisis de riesgo sísmico con el método de espectro-capacidad, utilizando el software S.E.L.E.N.A. (Seismic Loss Estimation using a logic tree Approach): La evaluación de la zona se desarrolla al recrear los registros de dos escenarios sísmicos de más grande envergadura el primero sobre

la falla de Tiscapa y el segundo el escenario sísmico determinístico generado en la falla geológica Zogaib, a una profundidad de 10 km.

En ese mismo año **Edwin Nadir Castrillo Osorio (2016)**, en su investigación titulada “Espectro de diseño y zonificación sísmica basada en períodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana de la ciudad de Mateare, Nicaragua”, se basó en el método del cociente espectral determinando dos zonas sísmicas cuyos suelos vibran desde $T_{01} = 0.14$ a 0.28 s y $T_{02} = 0.28$ a 0.36 s. Uno de los resultados más importantes de este estudio fue la propuesta de tres espectros de diseño siguiendo el método de interpolación de la excitación y basados en propagación unidimensional de ondas sísmicas. De tal manera que se comparó cada espectro de diseño con el calculado siguiendo el RNC-07 para definir el espectro más adecuado para la ciudad de Mateare.

Finalmente, los Brs. **Sandoval Rostran Y Santana Peña** en su tesis monográfica titulada “Análisis de Vibración Ambiental en el Edificio del Instituto de Geología y Geofísica (igg-cigeo) de la UNAN-MANAGUA aplicando la Técnica de Cociente Espectral Horizontal/vertical (HVSr)” analizaron el comportamiento dinámico del edificio y su interacción con el suelo, encontrando períodos del suelo de 0.38 seg y de la estructura de 0.21 seg en la dirección NS y 0.36 seg en la dirección EW obteniendo una coincidencia de periodos en ambas direcciones, en el área sureste del edificio lo que hace al edificio susceptible al fenómeno de resonancia.

Tomando como base los estudios antes expuestos se plantea realizar un análisis de los periodos dominantes de vibración entre suelo y estructura en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua, ya que se tiene poco conocimiento de la respuesta sísmica- dinámica del suelo y las edificaciones en la zona de estudio.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los períodos dominantes de vibración entre el suelo y estructura de las principales edificaciones del Recinto Universitario Rubén Darío (RURD, UNAN-Managua) mediante la aplicación de la técnica de Nakamura.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar mediante las Funciones de Transferencia Empíricas (FTE), los períodos dominantes (T_o) y las amplificaciones relativas (A_o) de los suelos, así como los periodos de vibración de las estructuras más importantes en el recinto universitario (RURD).
2. Identificar puntos de medición con efecto de sitio para realizar la clasificación dinámica y localizar micro-zonas con amplificación del suelo en el Recinto Universitario Rubén Darío.
3. Obtener modelos de velocidad de la onda de corte (V_s), para caracterizar y clasificar el suelo según el Reglamento Nacional de la Construcción de Nicaragua (RNC 07).
4. Determinar aceleraciones espectrales en el área de estudio para la obtención de valores máximos de respuesta de los suelos, los cuales servirán como base para el diseño sismo-resistente de futuras construcciones en la universidad.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En el sitio de investigación no se han realizado estudios de efecto de sitio que brinden información acerca de los parámetros dinámicos de los suelos del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN- Managua.

Considerando los daños que podría ocasionar un evento sísmico originado por la Falla de Zogaib ubicada al oeste de la universidad, es necesario conocer la respuesta sísmica del suelo en esta Alma Máter.

Con fines de evitar daños en las futuras edificaciones a causa de eventos sísmicos, es necesario conocer la respuesta local de sitio, que proporciona parámetros importantes como periodos dominantes y amplificaciones relativas de los suelos, los cuales deben de ser considerados en el diseño de toda obra civil para evitar el fenómeno de resonancia que puede ocasionar el colapso de las estructuras al coincidir con los periodos y frecuencias de vibración del suelo.

Con esta investigación se pretende brindar información de las propiedades dinámicas del suelo, tales como; periodos dominantes de vibración, amplificaciones y velocidades de propagación de las ondas sísmicas, la geometría y los tipos de suelos presentes en el área de estudio. Además, se calculan espectros de respuestas que son de gran interés para la planificación de las futuras obras civiles y para la reducción de riesgo sísmico y la prevención de desastres por terremotos en la UNAN- Managua.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 GENERALIDADES



La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), es la segunda universidad creada en Centroamérica, fue fundada el 1ro de Enero de 1812 en la ciudad de León. El Recinto Universitario “Rubén Darío” cuyo nombre es honor al inmortal poeta Nicaragüense príncipe de las letras castellanas

comenzó su funcionamiento en 1969. El 29 de abril de 1982, por decreto de la Junta de Gobierno de Reconstrucción Nacional, la UNAN- Managua se constituyó como institución independiente.

Cuenta con una población estudiantil de 39,197 entre grado, postgrado y programas de especialidades. Se ofertan 74 carreras de grado, en diversas áreas de conocimiento, con cobertura nacional a través de sus 9 facultades, un instituto Politécnico de la Salud (Polisal), los centros de investigación y laboratorios especializados. El postgrado de la UNAN-Managua se desarrolla en base a las demandas sociales y las necesidades presentadas en el Plan de Desarrollo Humano, ofreciendo un total de 87 programas entre especialidades, maestrías y doctorados.

Con relación a los Programas de Especialidades, se cuenta con una matrícula de 1,967 estudiantes distribuidos en los programas: Sistema Nacional de Capacitación Municipal (SINACAM) orientado a la profesionalización y fortalecimiento de capacidades de los servidores públicos de las alcaldías, y el programa de Universidad en el Campo (UNICAM) destinado a ampliar el desarrollo académico y profesional de las familias campesinas.

Cuenta con una planta académica de 863 profesores de tiempo completo, de los cuales el 6% de los docentes tienen el grado de doctor, el 56% tiene grado de máster y el 20% grado de licenciatura. En el área administrativa laboran más de 1,232 trabajadores, obteniendo una comunidad universitaria que asciende a más de 43,000 personas todos trabajando en función de un mismo objetivo la calidad de la educación superior.

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) tiene presencia en diferentes regiones del país. En Managua se encuentran los Recintos Universitarios “Rubén Darío”, “Ricardo Morales Avilés” y “Carlos Fonseca Amador”, donde funcionan facultades tales como: Ciencias, ingeniería y Arquitectura, ciencias de la educación e idiomas, ciencias médicas y de la salud, ciencias económicas y administrativas, humanidades, ciencias jurídicas y sociales. Asimismo, se encuentra posicionada en cuatro cabeceras departamentales a través de sus Facultades Regionales Multidisciplinarias: Estelí, Carazo, Chontales y Matagalpa, fiel a la política de descentralización universitaria.

La UNAN-Managua garantiza su participación activa en instancias nacionales e internacionales: Consejo superior Universitario Centroamericano (CSUCA), Consejo Nacional de Universidades de Nicaragua (CNU), Unión de Universidades de América Latina (UDUAL), Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP), Red de Macro universidades de América Latina y el Caribe; así como otras redes y asociaciones dedicada a la formación e investigación. Cuenta con institutos, centros de investigación y laboratorios especializados tales como:

- ✓ Instituto de Geología y Geofísica (IGG/CIGEO).
- ✓ Centro de Investigación en Recursos acuáticos (CIRA)
- ✓ El Centro de Investigación y Estudios de la Salud (CIES)
- ✓ Instituto Nicaragüense de Investigaciones Económicas y Sociales (INIES)

- ✓ El Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAFRAM)
- ✓ El Laboratorio de Biotecnología

El Recinto Universitario Rubén Darío según el estudio realizado por Castro y Borge “Análisis de riesgo sísmico, utilizando la herramienta de estimación de perdidas S.E.L.E.N.A” muestra que de 77 edificaciones, 60 de estas representan edificios de una sola planta, solo 16 estructuras tienen geometría de dos plantas y una sola de tres plantas (edificio POLISAL). Por otra parte, el sistema constructivo predominante con respecto a las 77 edificaciones evaluadas es mampostería confinada con un 63% , el 8% representan estructuras de planchetas prefabricadas ,el 13% estructuras de Acero y el 16% a estructuras de mampostería reforzada el cual es uno de los sistemas más utilizados en la UNAN-Managua (Auditorios, Polisal).

2.2 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio cubre una superficie de 23,6 hectáreas y se encuentra contenida, parcialmente, en la hoja topográfica de Managua (2952-III), a escala 1: 50,000 (INETER, 2005). Los vértices del polígono de estudio (ver figura 1), se ubican entre las coordenadas UTM del sistema geodésico mundial WGS84, que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

Punto del Polígono	Coordenadas UTM Norte	Coordenadas UTM Este
P1	1338656	579217
P2	1338334	579166
P3	1338165	579210
P4	1338160	579393
P5	1338089	579569
P6	1338167	579654
P7	1338569	579697

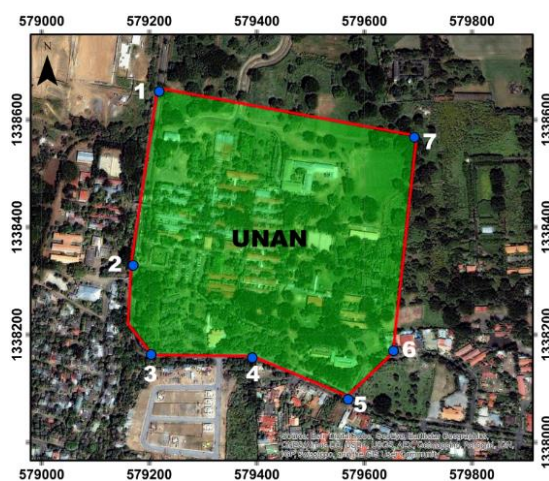


Figura 1. Puntos límites de poligonal de estudio

El sitio de estudio se ubica dentro de los terrenos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), la cual se encuentra de la Rotonda Universitaria 1 km al Sur, Villa Fontana (Ver figura 2).

La zona de investigación se caracteriza por presentar una morfología ondulada, compuesta por relleno de sedimentos recientes y materiales volcánicos del Cuaternario. La topografía de la zona presenta elevaciones entre los 180 y 220 metros. El área se localiza dentro de una zona de alta peligrosidad sísmica como es la Zona de Falla Zogaib, cuyo escarpe de falla se localiza al W del sitio de Investigación.

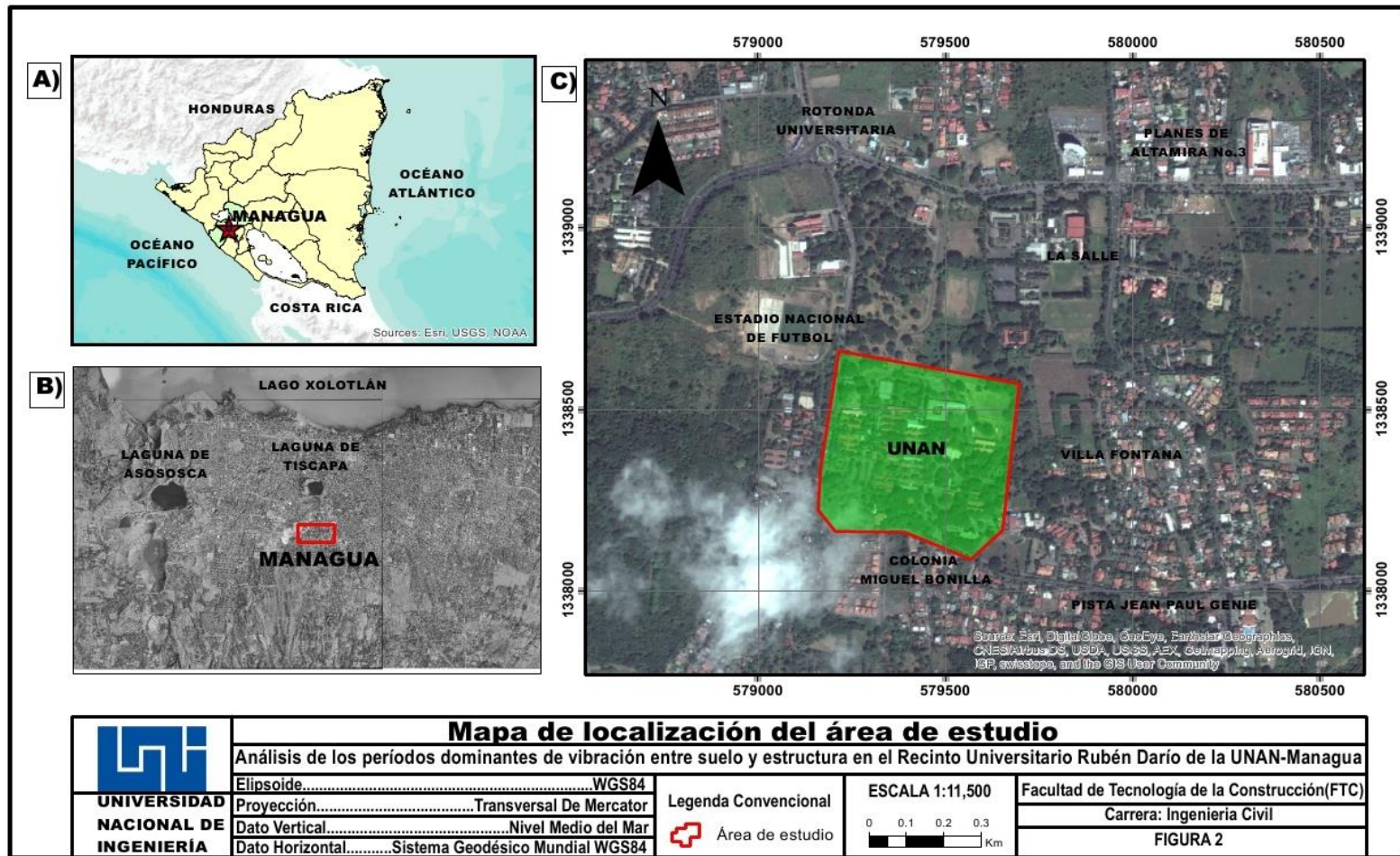


Figura 2. Mapa de Localización del Área de Estudio. A) República de Nicaragua y límites departamentales, B) Ciudad de Managua, Capital de Nicaragua y C), Sitio de Investigación representado por el polígono de color rojo.

2.3 MARCO TECTÓNICO Y SISMICIDAD.

2.3.1 Marco tectónico regional.

Nicaragua al igual que el resto de Centroamérica se encuentra ubicado en el margen oeste de la placa Caribe cerca de su interacción de la placa de Cocos en proceso tectónico de choque de placas denominado subducción. Los límites de esta zona de convergencia de placas están definidos por la distribución de la actividad sísmica (Molnar y Sykes, 1969).



Figura 3. Mapa Tectónico de América Central y la dirección de las Placas Tectónicas junto con sus respectivas velocidades (Frischbutter, 2002).

La placa tectónica del Caribe limita al norte con la placa Norteamericana, en el sistema de fallas Motagua-Polochic-Yucatán y la fosa Caimán; al este por la falla de Puerto Rico y la zona de subducción de las Antillas menores; al sur por la placa Sudamericana y al oeste por la fosa Mesoamericana. (Ver figura 3).

América Central ha sido dividida en tres grandes bloques tectónicos: el bloque Chortís, Bloque Chorotega y bloque Maya. El bloque Chortís es limitado al norte

por la zona de falla sinistral Motagua y Polochic, comprende el sur de Guatemala, Honduras y el norte de Nicaragua.

El bloque Chorotega, está constituido por un basamento oceánico del Cretácico, con espesores de sedimentos marinos y volcánicos depositados durante el terciario; se extiende desde el sur de Nicaragua hasta el norte de Panamá. Se ha postulado que el Escarpe de Falla Hess de movimiento lateral derecho marca el límite entre los bloques Chortis y Chorotega dentro del mar Caribe (Dengo, 1985).

El bloque Maya incluye la zona de falla Motagua y Polochic ubicada al norte de Guatemala, Belice, la península de Yucatán y el oeste de México hasta el istmo de Tehuantepec (Dengo, 1990; Donnelly et al., 1990).

2.3.2 Características sismo tectónicas.

La ocurrencia de sismos en Nicaragua obedece a su posición geográfica, debido que está ubicada dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que la convierte en un país con alto grado de amenaza sísmica. La sismicidad en el país se origina por la convergencia de las placas Coco y Caribe, la actividad volcánica y por fallamiento local.

2.3.2.1 Sismicidad en la zona de Wadatti- Benioff.

La zona sísmica denominada zona de Wadatti- Benioff, es el contacto de la placa Cocos al iniciar la subducción bajo la placa Caribe, región donde alcanza una intensa actividad sísmica sobre todo en la parte central ubicada a unos 100 km desde el eje de la fosa Mesoamericana.

En dicha zona la placa tectónica de Coco subduce a la placa del Caribe cuya dirección de subducción entre las dos placas es de N31°E, y la velocidad relativa es de 8 a 9 cm por año, con un ángulo de buzamiento de 80°, decreciendo hacia

la parte sur de Nicaragua hasta alcanzar los 60° en Costa Rica (Frisbuchtter, 2002). Debajo de Managua, la placa subducida alcanza más de 200 km, en esta profundidad parte del material de la placa Coco es fundido debido a las altas temperaturas del manto terrestre (Strauch, 2000).

2.3.2.2 Sismicidad de focos someros continentales.

Esta zona se caracteriza por generar sismos de magnitudes moderadas y profundidad somera (Moore, 1991). Los cuales son capaces de generar vibraciones relativamente pequeñas. Este tipo de eventos son los que han destruido la ciudad de Managua en los años 1931 y 1972.

2.4 MARCO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL

La ciudad de Managua se ubica entre la Cordillera Volcánica y en la porción central de la Depresión Nicaragüense, cuya profundidad de esta estructura geológica es de 300 Km y ancho de 70 Km, la cual se extiende con una dirección NO-SE y cruza el territorio nacional en el sector occidental. Tanto la cadena volcánica como la depresión se localizan paralelamente a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana.

El área de Managua se caracteriza por la presencia de depósitos piroclásticos no consolidados intercalados con suelos fósiles que demuestran la existencia de periodos de calma entre estos eventos volcánicos (Hradecky et al., 1997). Las fuentes de emisión de estos depósitos son la Caldera de Apoyo, Caldera de Masaya, volcanes mono-genéticos en la zona de Falla Nejapa, el Complejo Volcánico Chiltepe y Tiscapa.

El basamento de Managua se compone a partir de rocas volcánicas de la Formación Las Sierras, la cual está compuesta por Ignimbritas, depósitos de

oleadas piro-clásticas y de caída relacionados a explosiones de calderas que se han formado entre el Terciario Tardío e inicio de Cuaternario.

2.5 FALLAS GEOLÓGICAS

Geológicamente el área de Managua se ubica dentro un Graben tectónico intensamente fallado (Ver figura 3), orientado N-S, de tipo extensional y sísmicamente activo, que disloca la cordillera volcánica en sentido derecho por unos 13 km (Weinberg, 1992; Frischbutter, 2002).

Los límites del Graben de Managua, están definidos por las siguientes fallas geológicas. La Falla Punta Huete en su margen NW y la Falla Cofradía en su flanco Este, que se evidencian por escarpes de altura mayor a los 10 m y con orientación NNE (Sebesta, 1997; Girard y Van Wyk de Vries, 2005). El flanco W del Graben es delimitado por la Falla Nejapa, en la cual se emplazan 25 estructuras volcánicas mono genéticas y un volcán compuesto (Espinoza, 2007); la Falla Mateare con el mayor escarpe de Nicaragua (Van Wyk de Vries 1993; Sebesta, 1997). El límite sur del Graben de Managua es el Complejo Volcánico Las Sierras-Masaya, conformado por un escudo ignimbrítico y un complejo sistema de calderas (Van Wyk de Vries 1993; Sebesta, 1997; Girard et al., 2005). Las fallas geológicas de Managua son de tipo de fallas normales oblicuas con componentes laterales.

Dentro del graben se encuentran fallas orientadas según dos conjuntos conjugados: N-S y NE-SW. Las fallas con orientación N-S generalmente tienen forma de arco, con dirección paralela a estructuras mayores relacionadas a colapsos volcánicos y presentan desplazamientos de tipo normal. Estas observaciones sugieren que dichas fallas pueden estar relacionadas en el tiempo y espacio con el evento de subsidencia del graben. Las fallas con dirección NE-SW en particular N35°E y N45°E presentan desplazamientos laterales izquierdos.

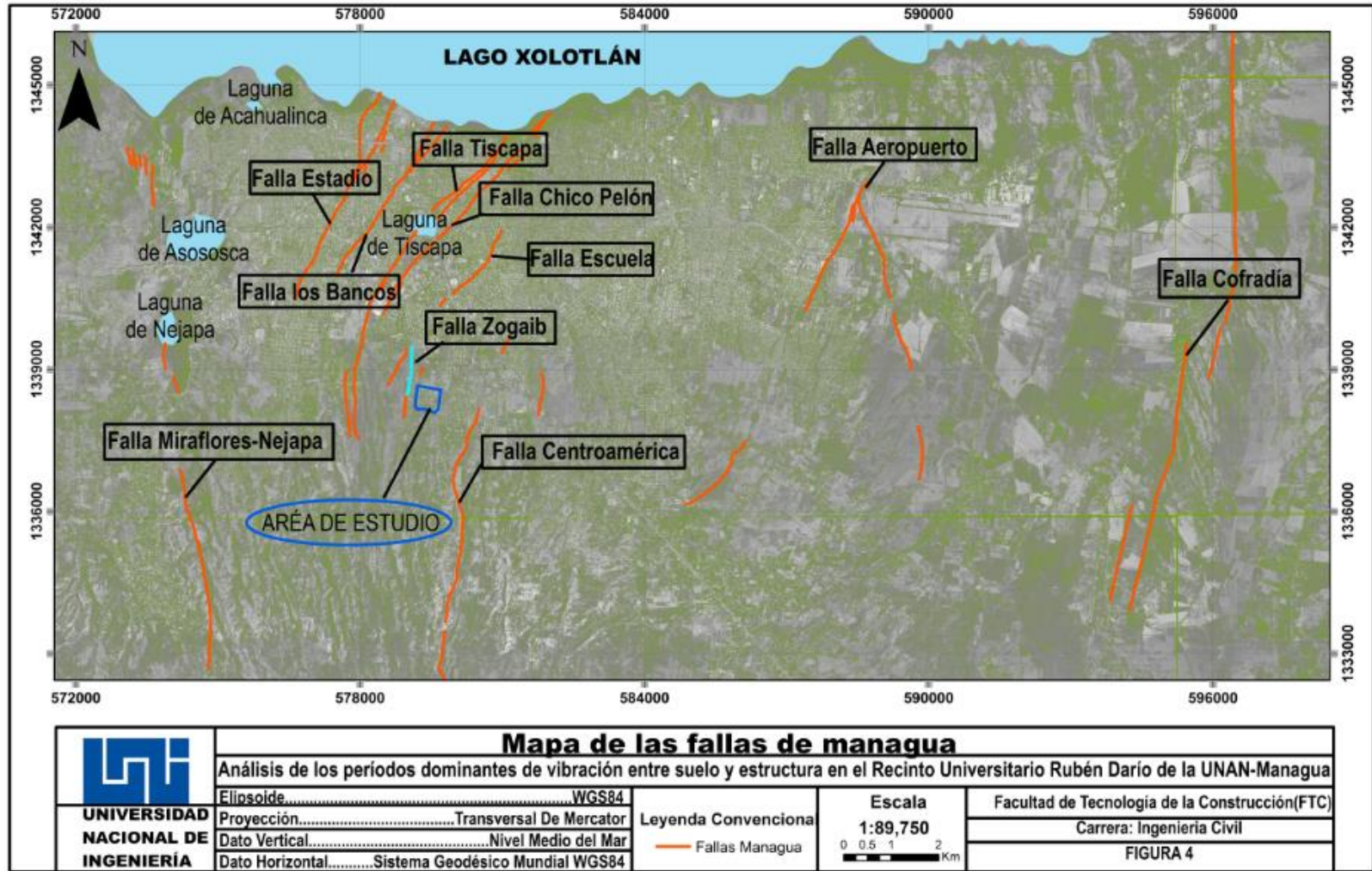


Figura 4. Mapa del sistema de Fallas geológicas de la ciudad de Managua.

2.6 TERREMOTOS HISTÓRICOS.

Los sismos que causaron más destrucción en Managua ocurrieron en el pasado siglo (1931 y 1972) y fueron producidos por la activación de fallas sísmicas locales, sin embargo nunca se tomó en cuenta a las condiciones del suelo como una causante de los daños registrados. A pesar de esto, no se debe perder de vista el hecho que dos zonas a las que se les asignó intensidades de VIII-IX en el mapa de isosistas (ver figura 5) coinciden con puntos que presentan amplificaciones cercanas a tres e incluso superiores (Escobar y Corea, 1998).

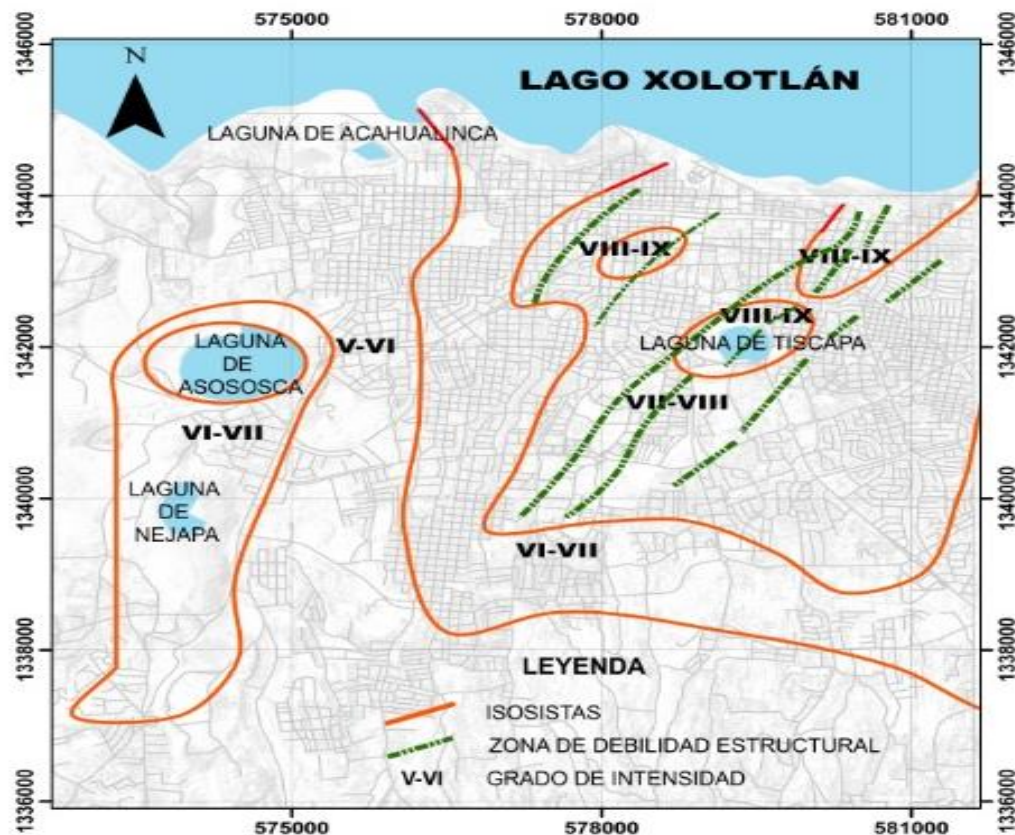


Figura 5. Mapa de isosistas del terremoto de 1972 (Chávez et al., 1973).

Tomando como referencia el terremoto de 1972 es posible observar el grave daño causado a las estructuras típicas construidas de la ciudad y explicar la razón de esos daños.

La mayor parte de las construcciones ubicadas en el radio central eran de taquezal, este tipo de construcción consiste en paredes con esqueleto de madera, rellenas con roca y tierra vegetal, con una cubierta típica de teja de barro cocido. Estas estructuras de enorme peso tienen poca resistencia a las fuerzas laterales y no soportaron los esfuerzos cortantes generados por el movimiento sísmico fallando hasta llegar en muchos casos al colapso total (ver figura 6).



Figura 6. Edificaciones de taquezal destruidas por el terremoto del 23 de Diciembre de 1972. Esta figura muestra las construcciones típicas de Managua. (Chávez et al., 1973).

Por su parte, en las estructuras de bloque de concreto y esqueleto de hormigón armado se observó un agrietamiento en cruz de las paredes evidenciando los esfuerzos cortantes. En muchos casos debido a la mala construcción, falta de refuerzo o uso inadecuado de materiales; el terremoto produjo el colapso de las estructuras especialmente en edificaciones de más de una planta (ver figuras 7 y 8).



Figura 7. Colapso total del primer piso de seis pisos de concreto en el edificio del Hotel Reisel, en la Calle 15 de septiembre. (Chávez et al., 1973).



Figura 8. Colapso total de edificio de cinco pisos, construido con bloques y estructura de concreto (Chávez et al., 1973).

En la mayor parte de las estructuras de gran cantidad de pisos se produjo un fallamiento de las columnas de soporte de la planta baja que se partieron en la base y en la parte superior, (ver figura 9 y 10) y en algunos casos también en la parte central.



Figura 9. Falla en columnas de concreto en edificio de dos plantas. Obsérvese la falta de estribos en el extremo superior de la columna. (Chávez et al., 1973).



Figura 10. Colapso total en columnas de concreto de edificio situado en el costado oeste de la Plaza de la Republica. (Chávez et al., 1973).

Los elementos de la parte superior de edificios altos de concreto, como casetas de máquinas para ascensores, techos de terrazas, tanques de almacenamiento etc., fallaron en gran número cayendo o arrancando los anclajes (ver figuras 11 y 12).



Figura 11. Falla completa de columnas de la planta baja en un edificio de varias plantas. (Chávez et al., 1973).



Figura 12. Colapso total de un edificio de tres plantas construido con bloques y esqueleto de estructura de concreto. (Chávez et al., 1973).

Es necesario hacer notar que en numerosos casos la inconsistencia o falta de coherencia estructural, la asimetría de los edificios y la distribución irregular de la rigidez, motivó el colapso total o grave daño de la estructura. Este caso fue notorio en los barrios residenciales de la periferia de la ciudad donde los mayores daños fueron debidos a las remodelaciones o ampliaciones.

La falla de las estructuras de buena calidad se explica en muchos casos por diferencias de compactación en el subsuelo como en sitios de relleno, antiguos sumideros o depresiones del terreno.

En síntesis se puede considerar que los daños del terremoto de 1972 fueron causados por una combinación de varios elementos, entre los cuales se puede citar: pobre calidad de construcción y materiales deficientes, cercanía del epicentro, cercanía del hipocentro a la superficie, desplazamientos en fallas situadas debajo de la ciudad, así como presencia de fracturas en el terreno y

estructuras no adecuadas para tener un buen comportamiento ante cargas laterales y réplicas de gran intensidad.

2.7 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL SITIO

El área de estudio se encuentra afectado por la falla geológica conocida como “Zogaib”, la cual se extiende desde el costado oeste de la calle 39 al sureste de la pista de la UNAN hasta las inmediaciones de la UNAN-Managua, en el Recinto Universitario “Rubén Darío”, por lo cual representa una amenaza sísmica para la zona de estudio.

La falla Zogaib tiene un rumbo norte – sur, cambiando su orientación en la porción norte del área, hacia el noreste. El escarpe de falla se presenta en forma de colina conocida como Mocerón, la cual decrece en altura en su rumbo hacia el norte, casi desapareciendo al suroeste del Reparto San Juan. Al norte de este reparto, cambia de rumbo hacia el noreste uniéndose con la falla Escuela con la cual forma un solo sistema. (Castrillo Osorio, Ulloa López, 2006).

El ancho conocido de la zona de la falla es de 10 metros y el tipo de falla es predominantemente normal, buzando hacia el este. Con una longitud aproximada de 2.7 kilómetros. La unidad geológica más reciente que desplaza esta falla sísmica es la formación San Judas.

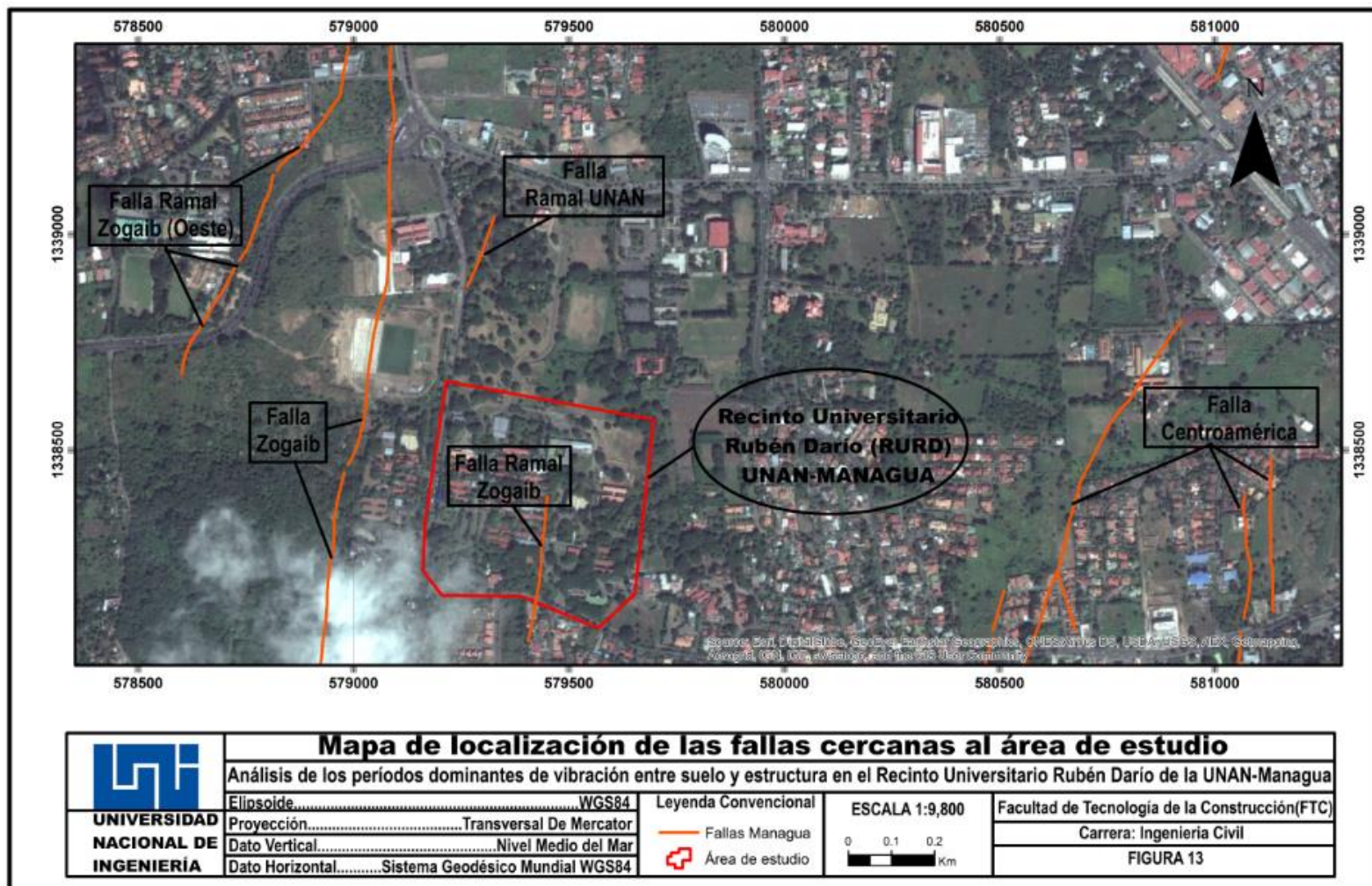


Figura 13. Mapa de ubicación de sistema de fallas sísmicas locales cercanas al área de estudio.

CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 ONDAS SÍSMICAS

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la tierra, originadas súbitamente por la liberación de energía sísmica debido a diversas fuentes de origen. Existen dos tipos principales de ondas sísmicas, las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

3.1.1 Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo son vibraciones que se propagan en el interior de la tierra, siguiendo caminos curvos, debido a la densidad y variada composición del interior de la tierra. Estas se clasifican en dos grupos: ondas primarias (p) y ondas secundarias (s).

La onda P es una onda longitudinal o de compresión, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación de la onda.

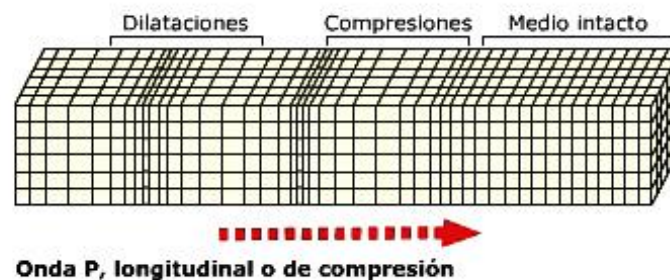


Figura 14. Propagación de la onda P en un medio.
(web.ua.es/es/urs/divulgacion/propagacion-de-ondas-sismicas.html).

Las ondas S se producen cuando la energía pasa a través del medio desplazando las partículas en direcciones perpendiculares a la propagación de la onda. Son menos rápidas que las ondas P, por lo que arriban a la superficie algo después de éstas. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de medios sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte.

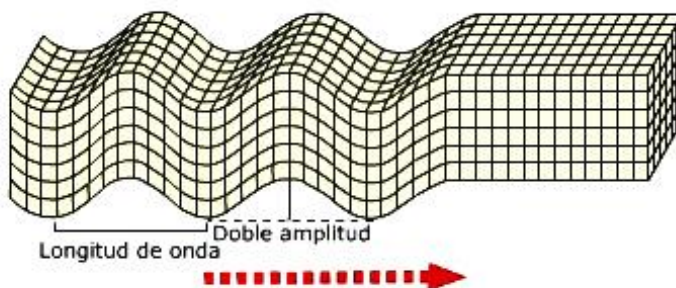


Figura 15. Propagación de la onda S en un medio.
(web.ua.es/es/urs/divulgacion/propagacion-de-ondas-sismicas.html).

3.1.2 Ondas superficiales

Cuando las ondas de cuerpo llegan a la superficie, se generan las ondas superficiales, debido a su baja frecuencia, las ondas superficiales provocan que las estructuras entren en resonancia con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por consiguiente las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales; las ondas Love y Rayleigh.

La onda love es aquella en la que el movimiento de las partículas ocurre en la dirección perpendicular de propagación de la onda pero paralelo a la superficie. La velocidad de la onda Love es un 90% de la velocidad de las ondas S y ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh.

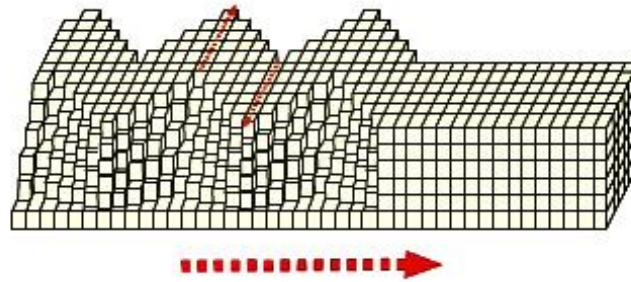


Figura 16. Propagación de la onda L un en medio.
 (web.ua.es/es/urs/divulgacion/propagacion-de-ondas-sismicas.html).

La onda Rayleigh, también denominadas ground roll, viaja a lo largo de la superficie libre de la tierra, presentan un movimiento en sentido elíptico retrógrado (en dirección de las agujas del reloj) sobre el suelo; similar al de las ondas marinas. Son ondas más lentas que las ondas de cuerpo y su velocidad de propagación es casi un 70% de la velocidad de las ondas S.

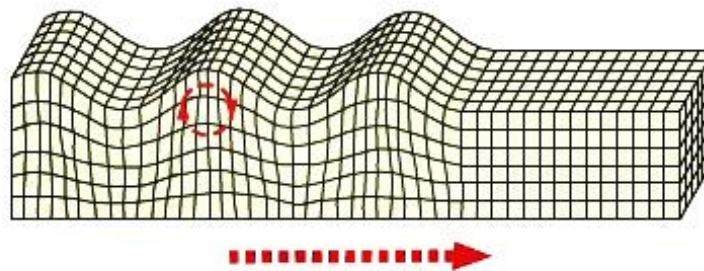


Figura 17. Propagación de la onda R en un medio.
 (web.ua.es/es/urs/divulgacion/propagacion-de-ondas-sismicas.html).

Se considera estas ondas las principales causantes de las sacudidas sentidas durante la ocurrencia de un terremoto, por esta razón son las responsables de los daños causados a las estructuras durante el desarrollo de estos fenómenos.

3.2 MICROTREMORES

Los microtremores, también llamado ruido ambiental, micro temblores o ruido sísmico, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas del suelo y roca por fuentes naturales o artificiales.

Los microtremores comenzaron a estudiarse desde el siglo pasado para la caracterización de suelos y estructuras. Omori (1909), fue el pionero en realizar estos estudios empleando un péndulo inclinado y concluyó que existían vibraciones naturales en el suelo que no correspondían a las ondas sísmicas o pulsaciones oscilatorias. Posteriormente, en los años cincuenta, aparecieron diversas metodologías lideradas por los japoneses sobre el origen y utilización de los microtremores para el estudio de las propiedades dinámicas del suelo.

Kanai y Tanaka (1961), definen los microtremores como vibraciones del suelo con amplitudes entre 1×10^{-5} y 1×10^{-4} centímetros, con periodos de 0.05, 0.1 a 1.0, 2.0 segundos, generados por el tránsito vehicular, operación de centros fabriles, el viento que hace oscilar árboles, edificios, etc.; como resultado de sus investigaciones con microtremores, concluyeron que el periodo dominante para un movimiento sísmico fuerte o débil está bastante relacionado con el periodo dominante para microtremores.

Los microtremores también son producidos por fuentes naturales, estas fuentes son de periodo largo mayor a 1 segundo y baja frecuencia menos de 1 Hz y están relacionados con los fenómenos naturales como el viento, mareas de los océanos y las variaciones en la presión atmosférica.

Desde los trabajos de Kanai en la década de los 50, los microtemores se han convertido en una de las herramientas más utilizadas para evaluar el efecto de sitio.

3.3 EFECTO DE SITIO

La respuesta sísmica de sitio, se define como la modificación de la señal sísmica debida a la influencia de las propiedades geotécnicas, geológicas y topográficas de los estratos más superficiales de la corteza terrestre en las características de los movimientos sísmicos esperados para un sitio (Chávez et al., 1987). Esta modificación consiste en la amplificación fuerte de la señal, una mayor duración del sismo y la modificación de su contenido frecuencial.

3.3.1 Amplificación sísmica

Sobre suelos blandos se registran amplitudes sísmicas más altas que sobre estratos rocoso, debido que en las capas superficiales las ondas sísmicas sufren cambios muy significativos, esto porque que el subsuelo se presenta como un depósito de estratos con diferentes propiedades mecánicas y dinámicas cuya base es la formación rocosa.

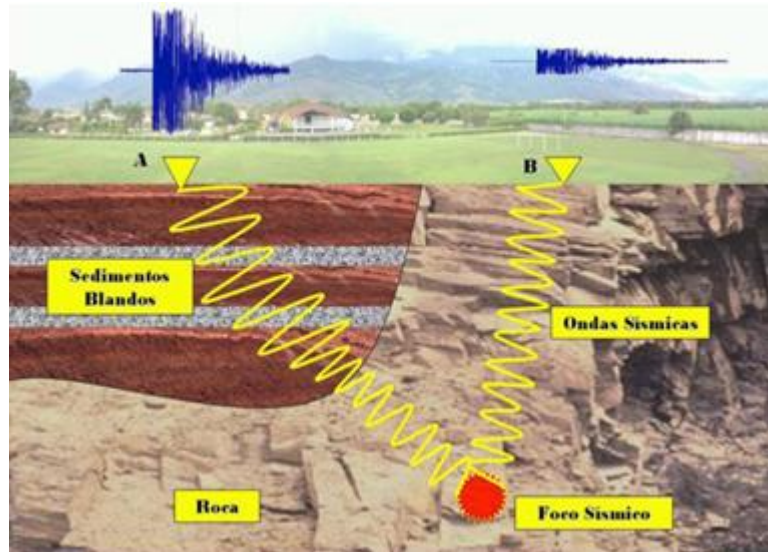


Figura 18. Efecto local de sitio donde se muestra el comportamiento de las ondas sísmicas al propagarse en suelos blandos y rocas. (Capacitacioneingenieria.wordpress.com)

En la figura 18, se aprecia que la onda emitida desde hipocentro se propaga sin muchos cambios, hacia el punto B y el sismograma registra amplitudes pequeñas. No obstante, en el punto A sobre el suelo se registran amplitudes mucho más altas en comparación con el punto B, esto indica que los parámetros físicos más importantes que determinan como las capas del suelo amplifican las ondas sísmicas y el espesor de las capas blandas que sobreyacen a basamento rocoso.

3.3.2 Periodo de vibración

Uno de los indicadores de mayor interés en la ingeniería sísmica es el periodo de vibración fundamental del suelo (T_0) que ha sido mundialmente utilizado para estimar los efectos locales de los suelos al ser sometidos a cargas dinámicas.

En numerosas ocasiones se ha demostrado que el periodo fundamental de los suelos está relacionado a los daños en las edificaciones, debido al llamado fenómeno de resonancia por lo que la estructura se ve sometida a mayores esfuerzos y desplazamientos los cuales pueden conducirla al colapso de existir efecto de sitio (Bermúdez y Franco, 2002).

3.3.3 Fenómeno de resonancia

Es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración característico de dicho cuerpo en el cual, una fuerza relativamente pequeña aplicada en forma repetida hace que una amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande. En estas circunstancias el cuerpo vibra aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento tras cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza.

En teoría si se consiguiera que una pequeña fuerza sobre un sistema oscilara a la misma frecuencia que la frecuencia natural del sistema se produciría una oscilación resultante con una amplitud indeterminada. Esta depende de la magnitud de la fuerza impulsora, de la relación entre la frecuencia impulsora y la frecuencia del resonador. Cuanto mayor sea la diferencia entre estas menor será la amplitud de oscilación del sistema resonador y mayor cantidad de energía será requerida para generar una determinada amplitud en la oscilación forzada.

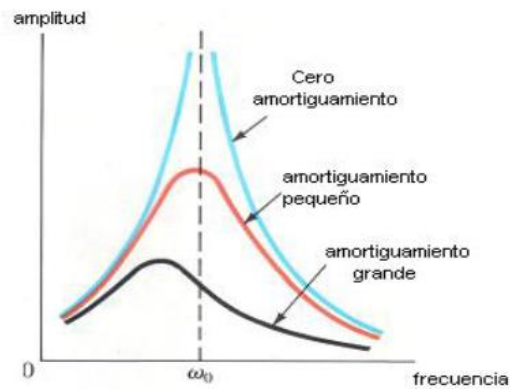


Figura 19. Curva de Resonancia a partir de un oscilador forzado (C.E. Repetto¹, A. Roatta, R.J. Welti. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2014).

La curva de resonancia presenta la amplitud de la vibración de un oscilador sometido a fuerzas externas de amplitud constante pero de frecuencias por debajo, igual y superiores a la frecuencia de resonancia. Esta curva puede ser medida experimentalmente y también construida a partir de un modelo del oscilador forzado.

El fenómeno de resonancia se produce cuando el suelo tiene un periodo natural de vibración que coincide con el periodo de vibración de la estructura, esto puede generar el incremento en la oscilación de la estructura; dada una suficiente duración el efecto de resonancia puede resultar en daño parcial o total. Los edificios tienden a tener una menor frecuencia natural cuando son más pesados (más masa) o más flexibles (menos rígido).

3.4 EVALUACIÓN DE EFECTO DE SITIO

Al evaluar los efectos locales de un sitio, es necesario la realización de una serie de investigaciones preliminares sobre aspectos como:

- ❖ Tectónica y sismicidad de la región.
- ❖ Geología local
- ❖ Geomorfología
- ❖ Información sobre estudios de Geotecnia.

Con la ayuda de la información disponible, es posible localizar puntos de interés en el lugar de estudio para registrar movimientos sísmicos del terreno, esto se conoce como micro-zonas o sitios de gran potencial sísmico.

Para poder determinar la respuesta sísmica de sitio se requiere conocer el comportamiento dinámico de las microzonas para esto se utilizan métodos geofísicos, en general se puede dividir estos métodos de evaluación en el método empírico y el método teórico.

Los métodos empíricos permiten determinar amplificaciones relativas y periodos dominantes de vibración del suelo, por medio del uso de datos sísmicos del sitio en estudio haciendo uso de acelerógrafos o cualquier otro registrador sísmico, comúnmente usado el método del cociente espectral H/V. Mientras los métodos teóricos analizan la respuesta de sitio basado en una descripción detallada de los estratos que conforman el suelo y las fuentes sísmicas.

En este trabajo se utilizará los métodos empíricos usando la Técnica de Nakamura o Cociente Espectral H/V y el método teórico o numérico propuesto por Thomson Haskell para el análisis de registros de microtemores en el área de estudio, los cuales se detalla en el siguiente apartado.

3.5 TÉCNICA DE NAKAMURA

La técnica del Cociente Espectral H/V, se basa en la propiedad de que la componente vertical no es amplificada al atravesar el suelo, por lo cual se puede considerar que el cociente entre la componente horizontal y la vertical es un buen estimador del efecto de sitio. Nakamura (1989), propuso que esto mismo se podía generalizar a lo que se conoce como ruido ambiental. El ruido ambiental es la superposición de las vibraciones del suelo producidas por efectos naturales (viento, tormentas, mareas, olas, etc.) o artificiales (tráfico de vehículos, paso de peatones, maquinaria, vibraciones de las estructuras civiles, ferrocarriles, etc), (Navarro, 1997).

A nivel práctico para el uso de la técnica, teóricamente es necesario que las fuentes que generan el ruido ambiental estén suficientemente lejanas para que la vibración directa sea pequeña comparada con la vibración de la resonancia del subsuelo que ellas provocan. Esto ha llevado a suponer que es necesario medir en días con poco viento y alejado varios metros del tránsito de vehículos, peatones y presencia de edificios y árboles.

La aplicación del método del cociente espectral a ruido ambiental necesita el promediado de un número importante de señales y el suavizado de estas. A nivel de adquisición de los datos (Alfaro, 1997) dado que por norma general se quiere estudiar el rango de interés en ingeniería entre 0,1 y 2 s.

La Técnica de Nakamura considera que los microtemores son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el substrato rocoso y que se amplifican debido a multirreflexiones de la onda S, en tanto que los verticales lo hacen por multirreflexiones de la onda P.

El efecto de la onda Rayleigh aparece resaltado en el movimiento vertical, de esta forma su magnitud puede ser conocida a partir de la relación entre el movimiento vertical en superficie y el movimiento vertical en el afloramiento rocoso (Alfaro, 1997). La propuesta de Nakamura pretende eliminar este efecto.

Generalmente la función de transferencia S_T de estratos superficiales se define de la siguiente forma (Navarro, 1999):

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (1)$$

Donde S_{HS} y S_{HB} son los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontales del movimiento en la superficie y el incidente entre el basamento rocoso y las capas superficiales.

Sin embargo, el espectro de la componente horizontal en la superficie S_{HS} está afectado fácilmente por las ondas superficiales. Ya que en la mayoría de los casos el ruido artificial se propaga principalmente como onda Rayleigh, probablemente S_{HS} se encuentra afectado por éstas. El efecto de la onda Rayleigh debe ser incluido en el espectro de la componente vertical del movimiento en la superficie S_{VS} , pero no en el espectro de la componente vertical del movimiento en el basamento S_{VB} .

Nakamura asume que el movimiento vertical no se amplifica por las capas superficiales representando el efecto de la onda Rayleigh en el movimiento vertical.

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2)$$

Dónde:

S_{VS} : Componente vertical del movimiento en la superficie.

S_{VB} : Componente vertical del movimiento en el basamento.

Por lo tanto si no hay onda Rayleigh $E_S = 1$. Si se aumenta el efecto de la onda Rayleigh, E_S se hace mayor que la unidad.

Nakamura también asume que el efecto de la onda Rayleigh es igual para las componentes vertical y horizontal, por lo que se considera que S_{TT} más fiable después de eliminar el efecto de la onda superficial.

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} \quad (3)$$

$$R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (4)$$

$$R_B = \frac{S_{HB}}{S_{VB}} \quad (5)$$

Donde:

S_{TT} : Función de transferencia.

S_T :Funcion de transferencia de estratos superficiales.

S_{HS} : Componente horizontal del movimiento en la superficie.

S_{HB} : Componente horizontal del movimiento en el basamento.

Los valores de R_S y R_B son obtenidas dividiendo el espectro horizontal entre el espectro vertical para los microtemores en superficie y en el basamento. Cuando R_B está cerca de la unidad para un rango relativamente amplio de frecuencias implica que para el basamento la propagación es la misma en todas las direcciones. Y por lo tanto:

$$R_S \cong 1 \quad (6)$$

$$S_{TT} \cong R_S. \quad (7)$$

Esto significa que la función de transferencia de las capas superficiales puede ser estimada a partir únicamente del movimiento en superficie. En otras palabras, el movimiento vertical en la superficie retiene las características del movimiento horizontal en el substrato. Pero R_S se vuelve ± 1 en el rango de frecuencias donde la onda Rayleigh prevalece, y esto no es notorio en la función de transferencia estimada. Hasta este punto se asume que R_S incluye dicho efecto con lo cual se elimina el efecto de la onda Rayleigh. Sin embargo, es importante recordar que la exactitud de la estimación decae cuando existe un ruido coincidente con la frecuencia predominante de la función de transferencia estimada.

R_B , Puede estar libre del efecto de la onda Rayleigh y tener exclusivamente las características de un punto dado. Consecuentemente, una función de transferencia más fiable puede estimarse multiplicando por $1/R_B$ como un término de compensación cuando se suministra la información del basamento.

Se ha llegado al consenso de que esta técnica es fiable para determinar el periodo predominante o fundamental del suelo, pero no así para determinar el grado de amplificación. A pesar de este inconveniente, dado su bajo costo y su accesibilidad, sirve para alertar de qué estructuras civiles pueden presentar

problemas debido a que son sensibles a las frecuencias en que el suelo muestra amplificación. Además el método es capaz de diferenciar diferentes tipos de material no sólo en cuanto al período predominante sino también en cuanto a la amplitud del microtremor, a su vez los análisis de estacionariedad que permiten identificar la presencia de fuentes fijas que excitan el suelo a una determinada frecuencia (Alfaro, 1997).

Es importante destacar que mediante esta técnica no es posible realizar una caracterización de falla geológica, para desarrollar esa actividad es necesario aplicar métodos eléctricos o magnéticos en el área de interés para estudiar específicamente el fallamiento local.

3.6 MÉTODO DE HASKELL

En 1964 y 1966, N. Haskell, desarrolló un modelo que permite calcular la función de transferencia de una estratigrafía determinada, “en el que el desplazamiento de la falla se representa por una onda coherente solo en segmentos de la falla y las radiaciones desde secciones adyacentes se suponen estadísticamente independientes o incoherentes”. Este modelo es ampliamente utilizado en sismología, utilizando para ello resultados o estudios de la teoría de vibraciones casuales. Aunque el método solo admite estratos planos y paralelos, la solución satisface exactamente las condiciones de frontera en todo el dominio y permite considerar incidencia oblicua de ondas SH (Ondas S polarizadas horizontalmente).

En este modelo se introduce la idea de desplazamientos aleatorios de la falla en pasos irregulares. No obstante, esta teoría se limita a la idea de que los estratos

son de espesor uniforme en la dirección horizontal, por tanto no considera el efecto de variación lateral del suelo (heterogeneidad). Para considerar este efecto se requiere del uso de algoritmos más avanzados tales como los métodos de elemento finito o diferencia finita.

Sin embargo, para determinar modelos o perfiles de velocidad V_s y V_p en 1-D dimensión por la técnica de Nakamura, se utilizó el método de Haskell, el cual es un modelo unidimensional para un medio estratificado y este aproxima un pico de periodo dominante de la función de transferencia empírica calculada (FTE) con la función de transferencia Teórica (FTT), por modelado directo. Este método requiere de ciertas características de los estratos como: espesor, velocidad de propagación de ondas y densidad. Para ello, se hace uso del programa de código abierto Rayhvsh (Kiminobu Eto, 2004).

3.7 VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE (V_s)

La velocidad de onda de corte es uno de los parámetros influyentes en el análisis del comportamiento dinámico de los suelos, medio a través del cual se logra obtener el valor del Módulo de rigidez (G), de los materiales del subsuelo.

Existen normas internacionales como la National Earthquakes Hazard Reduction Program (NEHRP) y el Eurocode, que clasifican los suelos en base a la velocidad promedio de onda de corte en los primeros 30 m de la superficie, esto permite caracterizar de forma global el sitio y poder estimar la respuesta sísmica de este.

La velocidad de onda de corte V_s , según NEHRP está dada por la ecuación:

$$\overline{V_s} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (8)$$

Donde V_s es la velocidad de onda de corte promedio, d_i los espesores de los estratos en los 30 m y V_{si} la velocidad de onda de corte en cada estrato.

Tabla 2. Clasificación de sitio y tipo de suelo según la National Earthquakes Hazard Reduction Program (NEHRP).

clasificación de sitio	Descripción	V_s (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760 - 1500
C	Suelos muy densos, roca suave	360 - 760
D	Suelo suave	180 - 360
E	Perfil de suelo	< 180
F	Suelos que requieren evaluación de sitio específicas	

Según el reglamento Nacional de la Construcción de Nicaragua RNC-07, se toma en cuenta los efectos de amplificación sísmica debido a las características de terreno, que se dividen en cuatro zonas según su nivel de sismicidad. Los sitios se clasifican en función de las ondas de corte promedio V_s .

Tabla 3. Clasificación de suelo según el Reglamento Nacional de la construcción de Nicaragua (RNC-07).

Clasificación de sitio	V_s (m/s)
Tipo I. Afloramiento rocoso	$V_s > 750$
Tipo II. Suelo firme	$360 < V_s \leq 750$
Tipo III. Suelo moderadamente blando	$180 < V_s \leq 360$
Tipo IV. Suelo muy blando	$V_s > 180$

Siendo V_s la velocidad promedio calculada a una profundidad no menor a 10m, esta se determina mediante la expresión:

$$V_s = \frac{\sum_{n=1}^N h_n}{\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{v_n}} \quad (9)$$

Donde:

h_n = espesor del n-ésimo estrato (m).

V_n = velocidad de ondas de corte del n-ésimo estrato

N = número de estratos.

3.8 ESPECTRO DE RESPUESTA

En 1932 M.A.Biot introdujo el concepto de espectro de respuesta, el cual fue desarrollado por G.W.Housner para caracterizar de una manera práctica el movimiento del suelo y sus efectos en las estructuras (Chopra, 1995). El concepto de espectro de respuesta en ingeniería sísmica es una gráfica de valores picos de respuesta de una cantidad como función del periodo natural de vibración del sistema o cualquier parámetro relacionado como frecuencia angular (ω_n) o la frecuencia cíclica (f_n) se denomina espectro de respuesta para dicha cantidad (Chopra. 2007).

Se puede definir una variedad de espectros de respuesta en función de la cantidad de respuesta que se grafique. Se puede obtener lo siguiente:

$$u_o = (T_n, \xi) \equiv \max |u(t, T_n, \xi)| \quad (10)$$

$$\dot{u}_o = (T_n, \xi) \equiv \max |\dot{u}(t, T_n, \xi)| \quad (11)$$

$$\ddot{u}_o^t = (T_n, \xi) \equiv \max |\ddot{u}^t(t, T_n, \xi)| \quad (12)$$

Donde:

u_o = espectro de respuesta de deformación.

\dot{u}_o = espectro de respuesta de velocidad.

\ddot{u}_o^t = espectro de respuesta de aceleración.

T_n = periodo natural de vibración.

ξ = Amortiguamiento.

El espectro de respuesta de deformación es una gráfica de u_o contra T_n para un ξ *fijo*. Una gráfica similar para \dot{u}_o y \ddot{u}_o^t . (Chopra 2007).

3.8.1 Espectro de respuesta de deformación

Este espectro es una gráfica que experimenta la deformación inducida por el movimiento del suelo contra el periodo natural de vibración T_n .

La figura 20 muestra el procedimiento para obtener el espectro de respuesta de deformación, el cual fue desarrollado para el movimiento sísmico del terreno de “El Centro”, figura 20 (a). La variación de la deformación es mostrada en la figura 20 (b). Para cada sistema el valor pico de la deformación es determinado del histograma de deformación. El valor de la amplitud u_o determinado para cada sistema provee una coordenada o punto en el espectro de respuesta de deformación. Repitiendo los cálculos para un rango de valores de T_n mientras ξ se mantiene constante, provee el espectro de respuesta de deformación mostrado en la figura 20 (c).

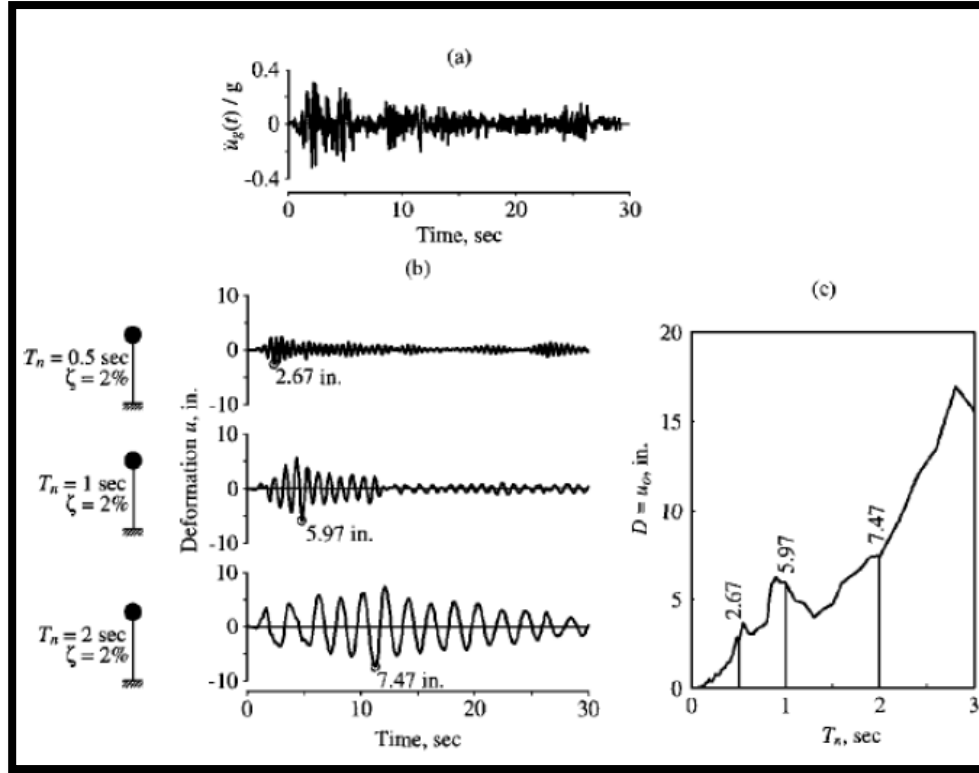


Figura 20. (a) Aceleración del suelo, (b) respuesta de deformación de tres sistemas simples con $\xi = 2\%$ y $T_n = 0.5$; 1 y 2 seg. (c) Espectro de respuesta de deformación para $\xi = 2\%$ (Chopra, 2007).

3.8.2 Espectro de respuesta de pseudo- velocidad

Este espectro de respuesta es una gráfica de V (pseudo- velocidad pico) en función del periodo de vibración natural T_n , o de la frecuencia de vibración natural f_n del sistema.

Considerar una cantidad V para un sistema simple con una frecuencia natural ω_n , relacionado con su deformación máxima $D \equiv u_o$, debido al movimiento sísmico del suelo, se puede determinar el espectro de respuesta de pseudo- velocidad mediante la siguiente expresión por:

$$V = \omega_n * D = \frac{2\pi}{T_n} D \quad (13)$$

3.8.3 Espectro de respuesta de pseudo- Aceleración.

Este tipo de espectro es una representación de A en función del periodo de vibración natural T_n ó de la frecuencia de vibración natural f_n del sistema.

Considerar una cantidad A para un sistema simple con una frecuencia natural ω_n , relacionado con su deformación máxima $D \equiv u_o$, debido al movimiento sísmico del suelo, se puede determinar el espectro de respuesta de pseudo- velocidad mediante la siguiente expresión por:

$$A = \omega_n^2 * D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 * D \quad (14)$$

Donde A es la llamada pseudo- aceleración pico.

3.8.4 Espectro de repuesta combinado (D-V-A)

Este espectro es una gráfica donde se representan las tres cantidades espectrales (deformación, pseudo-velocidad y pseudo- aceleración), en un solo gráfico para un movimiento sísmico. Los tres espectros proveen cantidades físicas significativas, por esta razón que son necesarios.

El espectro de deformación suministra la deformación máxima del sistema; el espectro pseudo-velocidad está relacionado con la energía pico almacenada en el sistema durante un sismo; el espectro pseudo- aceleración está relacionado directamente con el valor máximo de la fuerza estática equivalente y el cortante basal.

Las tres cantidades espectrales pueden ser representadas en un solo gráfico, esto es posible porque las tres magnitudes espectrales están relacionadas entre sí por las ecuaciones:

$$\frac{A}{\omega_n} = V = \omega_n * D \quad \text{ó} \quad \frac{T_n}{2\pi} * A = V = \frac{2\pi}{T_n} D \quad (15)$$

Debido a esta interacción las cantidades se pueden graficar como se muestra en la figura 21

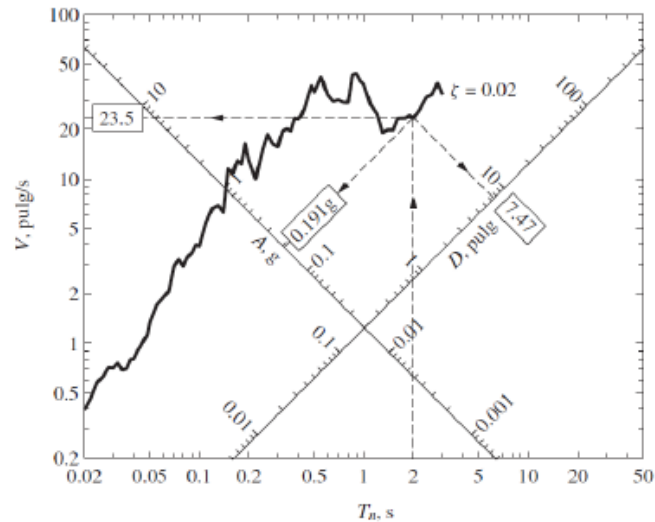


Figura 21. Espectro de respuesta combinado D-V-A para el movimiento de El centro; $\xi = 2\%$ (Chopra, 2007).

3.8.5 Espectros de diseño

Los espectros de diseño son generalmente graficas suavizadas con promedios y envolventes de los diferentes movimientos del espectro de respuesta (ver figura 22), el uso de espectros de diseños, implícitamente tienen incertidumbre al evitar las fluctuaciones de las aceleraciones espectrales y tener pequeños cambios en el periodo de vibración (Kramer 1996).

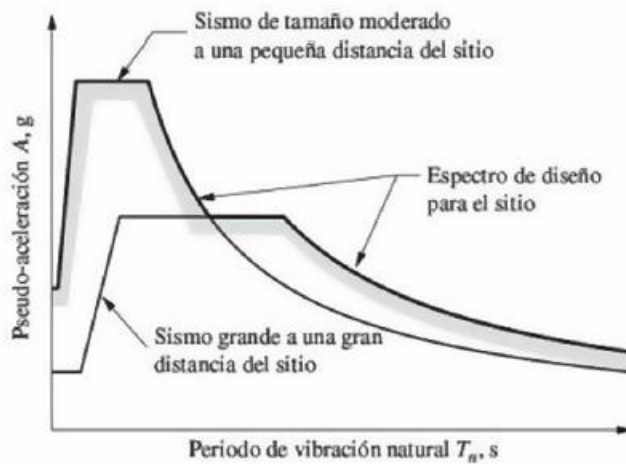


Figura 22. Espectro suavizado de respuesta para diferentes movimientos de sismos (Chopra, 2007)

Según el reglamento nacional de la construcción (RNC-07), el espectro que se utiliza en el territorio nacional se construye mediante las siguientes ecuaciones:

$$a = \begin{cases} S \left[a_0 + (d - a_0) \frac{T}{T_a} \right] & \text{si } T < T_a & (16) \\ Sd & \text{si } T_a \leq T \leq T_b & (17) \\ Sd \left(\frac{T_b}{T} \right) & \text{si } T_b \leq T \leq T_c & (18) \\ Sd \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 & \text{si } T > T_c & (19) \end{cases}$$

De acuerdo a los factores de amplificación, la aceleración y los periodos naturales del suelo se construye el espectro de diseño que cubre los picos más altos de los espectros de respuestas de sitio de esa zona que se utiliza en el diseño de las edificaciones.

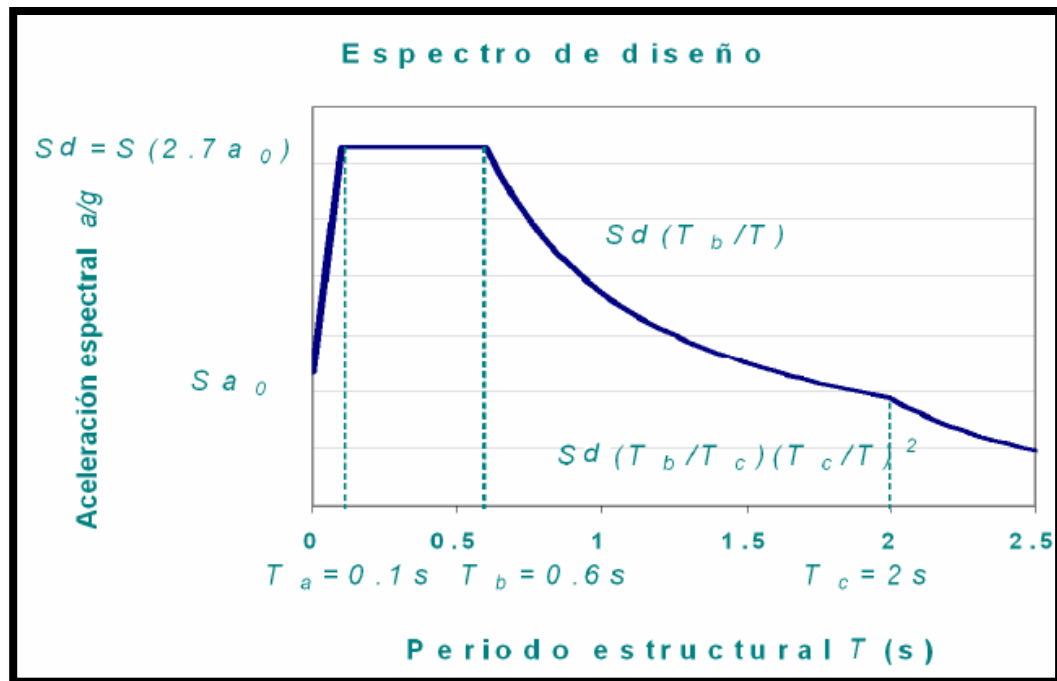


Figura 23. Espectro de diseño para Nicaragua según el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07).

CAPÍTULO IV. INSTRUMENTACIÓN Y TRABAJO DE CAMPO.

4.1 EQUIPO DE MEDICIÓN

La adquisición de datos se realizó con el equipo McSEIS-MT NEO (véase figura 24), el cual registra vibraciones ambientales o microtremores y mediante el análisis de estos datos se pueden estimar parámetros dinámicos del suelo como: Frecuencia Natural (F_0), Períodos Fundamentales (T_0) y Amplificaciones Relativas (A_r).

Este equipo pertenece al Instituto de Geología y Geofísica del UNAN-Managua, el cual fue facilitado para la ejecución de la presente investigación.

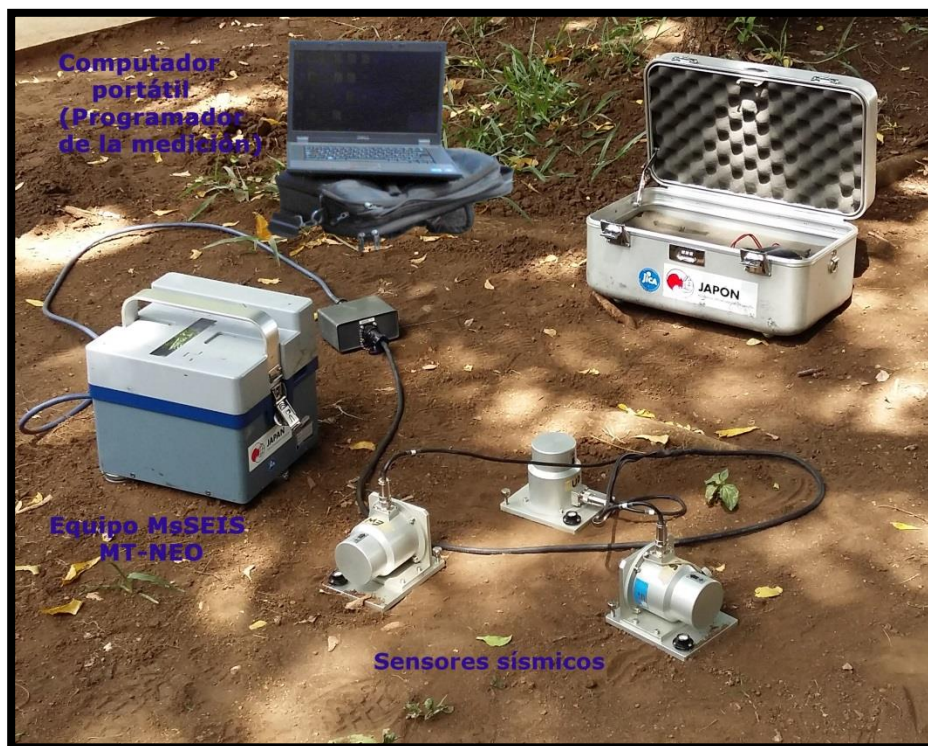


Figura 24. Acelerómetro digital McSEIS-MT NEO, con sensores sísmicos externos de período largo para mediciones de microtremores o vibraciones del suelo. (<http://www.oyo.co.jp>).

El equipo McSEIS-MT NEO es un acelerómetro digital que contiene tres sensores internos y le pueden ser acoplados tres sensores externos de período largo con una resolución de 1 μ G. Adicionalmente, se le integra un sistema de posicionamiento global (GPS) y puede funcionar de forma automática con una batería interna para su operación en el campo. El instrumento no requiere de una fuente sísmica artificial (como el golpe de un martillo o detonación de explosivos) para su activación y adquisición de la propagación de vibraciones ambientales en el subsuelo que son producidas por ondas superficiales generadas por las actividades humanas, el tránsito vehicular, el ruido de maquinarias o fenómenos naturales como el viento, mareas de los océanos y las variaciones en la presión atmosférica.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del equipo McSEIS-MT Microtremores.

Frecuencia	Rango dinámico	Impedancia	Resolución de los Sensores	Sensibilidad
0.1-200 Hz	120 dB	1M Ω	1 μ G	2.0V/G

4.2 TRABAJO DE CAMPO.

Para la ejecución del trabajo de campo y la obtención de registros de microtremores en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se investigó la información referente a las características geológicas y los estudios geotécnicos previos realizados en el sitio y sus alrededores.
2. Los puntos de medición se ubicaron en función de las zonas de interés del recinto (pabellones, Salones de clases, etc.).
3. Las mediciones de microtremores en el suelo se iniciaron el 7 de septiembre y se concluyeron el 28 de octubre de 2016.

4. La adquisición de registros de microtemores se obtuvo mediante el equipo acelerómetro McSEIS-MT NEO, el cual se le acoplan tres sensores externos de periodo largo. El sensor sísmico que registra el movimiento del suelo en la componente N-S fue orientado con respecto al norte geográfico y de forma perpendicular a este se ubicó el sensor EW y la componente UD (Ver figura 25 A).

Además fue necesario en cada estación nivelar los sensores sísmicos externos del acelerómetro con el nivel esférico lo cual se logra manipulando los tornillos de nivelación en cada sensor, luego estos se conectan a la fuente de poder mediante cables con numeración 1, 2 ,3 correspondiente a las componentes Norte-Sur, Este-Oeste y la componente vertical U-D (Ver figura 25 B).

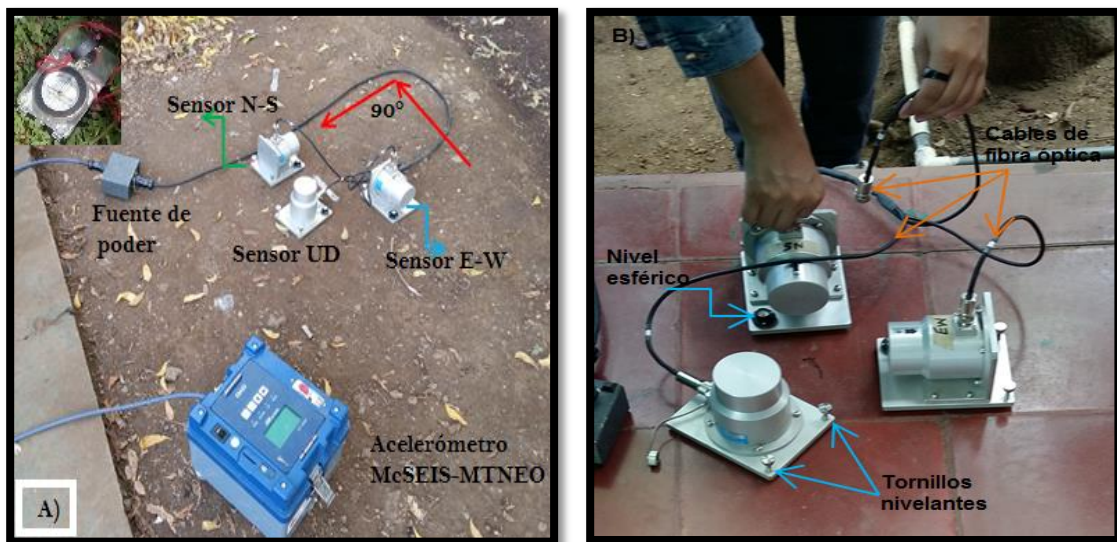


Figura 25. Instalación del acelerómetro para la obtención de registro de microtemores en el suelo. A) Ubicación de sensores externos en relación al norte magnético, B) Nivelación de sensores y conexión de cables de la fuente de poder del equipo.

5. Una vez estacionado el equipo se adquirió las coordenadas geográficas UTM de cada estación con un GPS, marca GARMIN.



Figura 26. GPS Garmin para la localización de datos.

6. Se programó la medición en el acelerómetro McSEIS-MT NEO utilizando un computador portátil y una memoria (Micro SD), incorporando el tiempo de duración de la medición por cada estación de 10 a 15 minutos. Consecuentemente se insertó la memoria en el acelerómetro para la obtención y almacenamiento del registro.

Un total de 109 registros de microtemores fueron adquiridos con el acelerómetro McSEIS-MT, con una separación 50 metros entre cada estación, las cuales fueron distribuidas en todo el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua. (Véase figura 27).

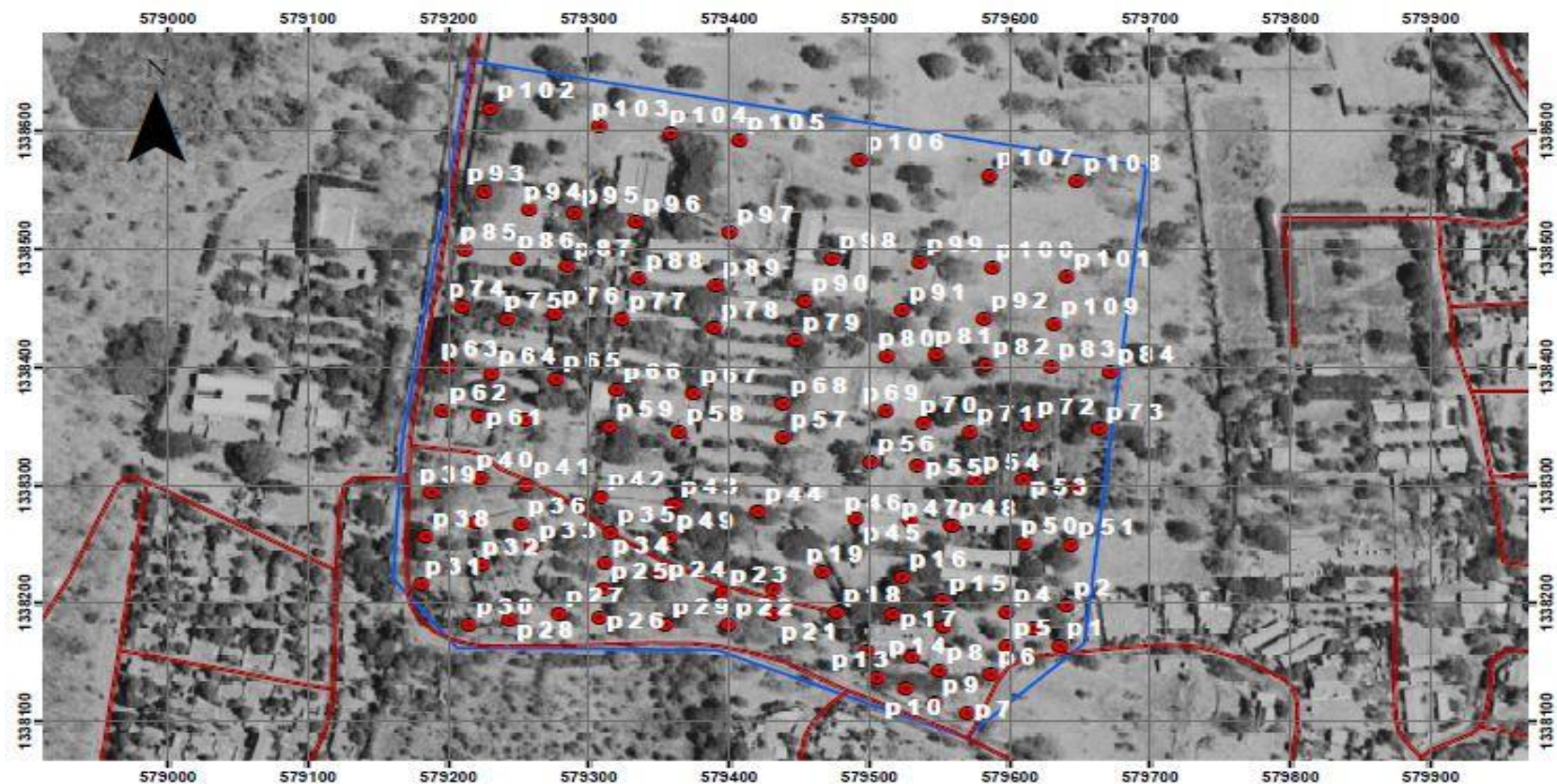


Figura 27. Mapa de ubicación de mediciones de microtremores por técnica de Nakamura.

CAPÍTULO V. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

5.1 PROCESADO DE DATOS

El procesamiento de los datos consistió primeramente en la conversión de los registros de microtemores de formato MTN a punto “.dat”. Los registros digitalizados fueron convertidos para extraer las componentes N-S, E-W y U-D, utilizando el programa `mtn2asc_manual.prm` que se ejecuta en el compilador Cygwin utilizando el lenguaje de programación Fortran 77.

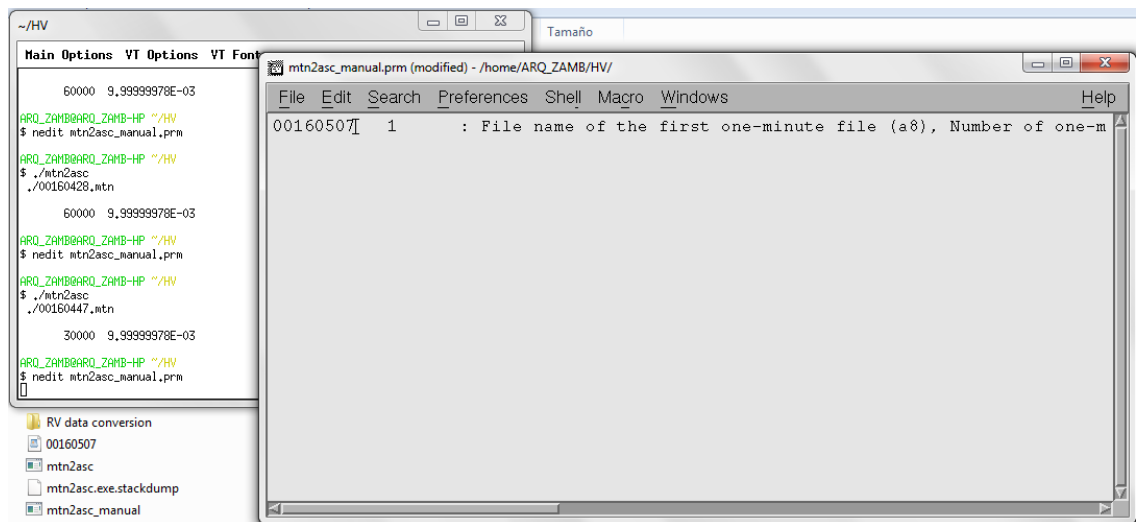


Figura 28. Programa de conversión `mtn2asc_manual.prm` para cambiar archivos de microtemores con formato MTN a “.dat”.

5.1.1 Registros de microtemores

Con el programa japonés `Wavemic2009v4e.exe` del Doctor Kiminobu Eto desarrollado en el 2004, se visualizó la forma de onda de los registros de microtemores y se seleccionó las ventanas de datos de registro que no estuvieran contaminados por ruido y que afecten la estacionalidad de la señal.

Para la visualización de la formas de onda de cada registro se configuró las características del archivo de texto de cada punto de medición tomado en cuenta

el número de datos del registro, proporcionando el nombre de cada estación e incorporando los datos de las componentes N-S; E-W; U-D del movimiento del suelo (ver figura 29).

wavemic2009v4e Control File		inpmicw
1. RelativePath_of_InputFile		
.input\		
2. Input File		
0.01	,Smplingtime(sec)	
3	,Number of Header	
90000	,Number of Data	N° de datos del registro
0	,Number_of_SkipData	
2	,Inputdata 1:acc. 2:vel. 3:disp.	
1	,BaselineCorrection --0:No 1:Yes	
0	,Integ.&Diff. -- 0:No 1:Integration ,2:Differentiation	
3. Drawing waveforms		
p2unan	,Title of waveforms	Nombre de la forma de onda
3	,How many waveforms is drawing? virtual direction	
1	,How many waveforms is drawing? cross direction	
0	,Duration time of drawing waveforms (0:Auto 1:ttt)	
1800.	,ttt(sec)	
0	,Amplitude_of_Waveforms 0:Auto 1:All_data=amp0 2:each_data=amp1	
0	,amp0	
0.5	,Size of character (0.5'1.0)	
5	,Number of Skip data (no:1)	
4. BandPassFilter(CosineTaper)		
0	,!BandPassFilter 0:no, 1:yes	
1.0	,!Short-period(s)	
5.0	,!Long-period(s)	
5. InputFileName		
Filename(A80), Comp.Name(A20), Coefficient , Amplitude(amp1)		
00162156_NS.dat	,NS ,1. ,1.0E-4	
00162156_EW.dat	,EW ,1. ,1.0E-4	
00162156_UD.dat	,UD ,1. ,1.0E-4	Nombre del archivo de entrada

Figura 29. Parámetros de configuración de entrada del programa Wavemic2009v4e.

Luego de analizar las formas de ondas de cada registro de microtemores se estimó la transformada de Fourier (espectros de Fourier) de las componentes verticales y horizontales del movimiento de suelo mediante el programa FouSpcMicGv4.exe del Doctor Kiminobu Eto desarrollado en el 2004, obteniendo las curvas espectrales de cada registro de medición.

La figura 30, muestra un registro sísmico de microtremores con su espectro de Fourier para cada una de las tres componentes de vibración del suelo.

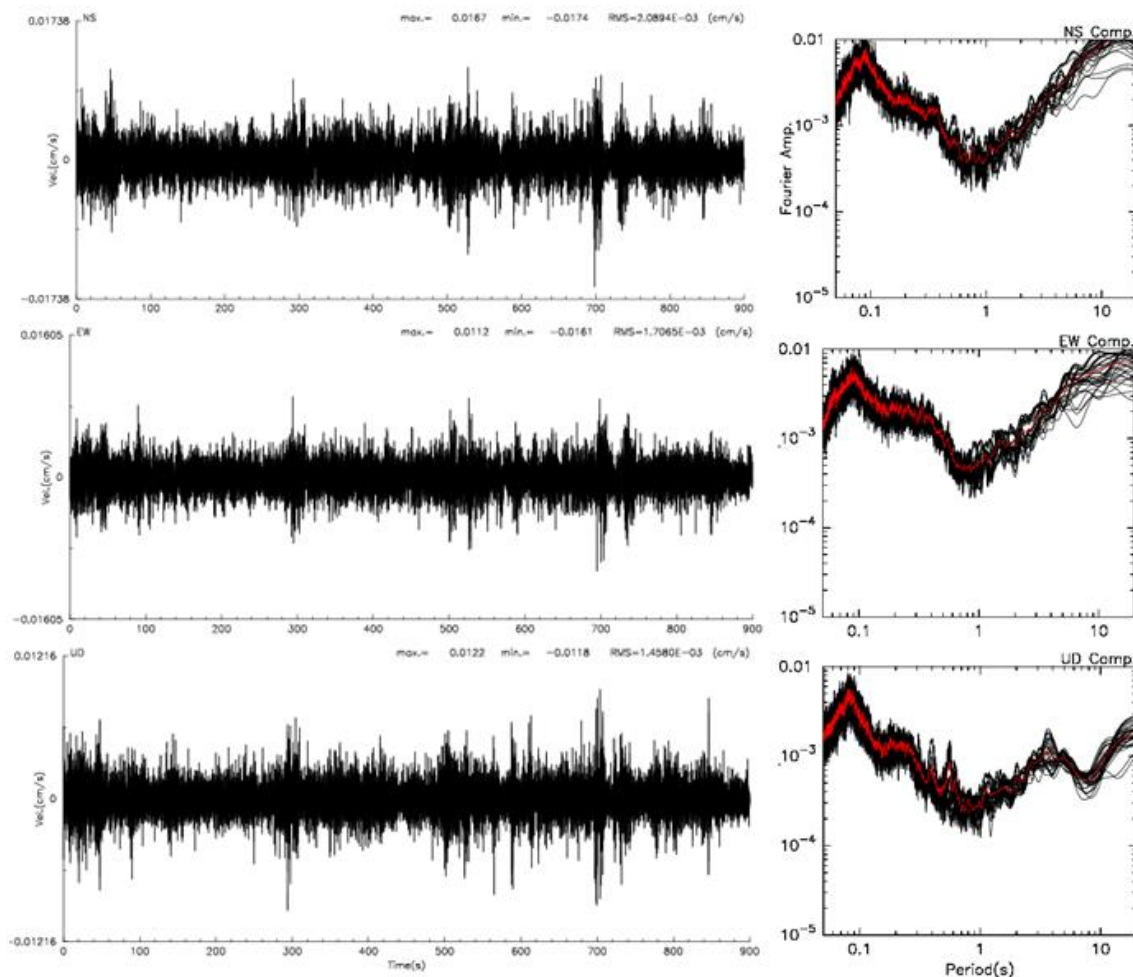


Figura 30. Ejemplo de registro de vibración ambiental y espectro de Fourier para las componentes del movimiento del suelo N-S, E-W y U-D (punto P2).

5.1.2 Determinación de la función de transferencia empírica (FTE).

Finalmente se calculó la relación espectral de las componentes horizontales y vertical haciendo uso del programa FouSpcMicGv4.exe (Kiminobu Eto, 2004), y se obtuvieron el valor promedio de las mismas, lo cual según Nakamura, es la función de transferencia aproximada del suelo.

En la figura 31, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la técnica de Nakamura para los puntos seleccionados como las estaciones de medición (punto 12, 57,67).

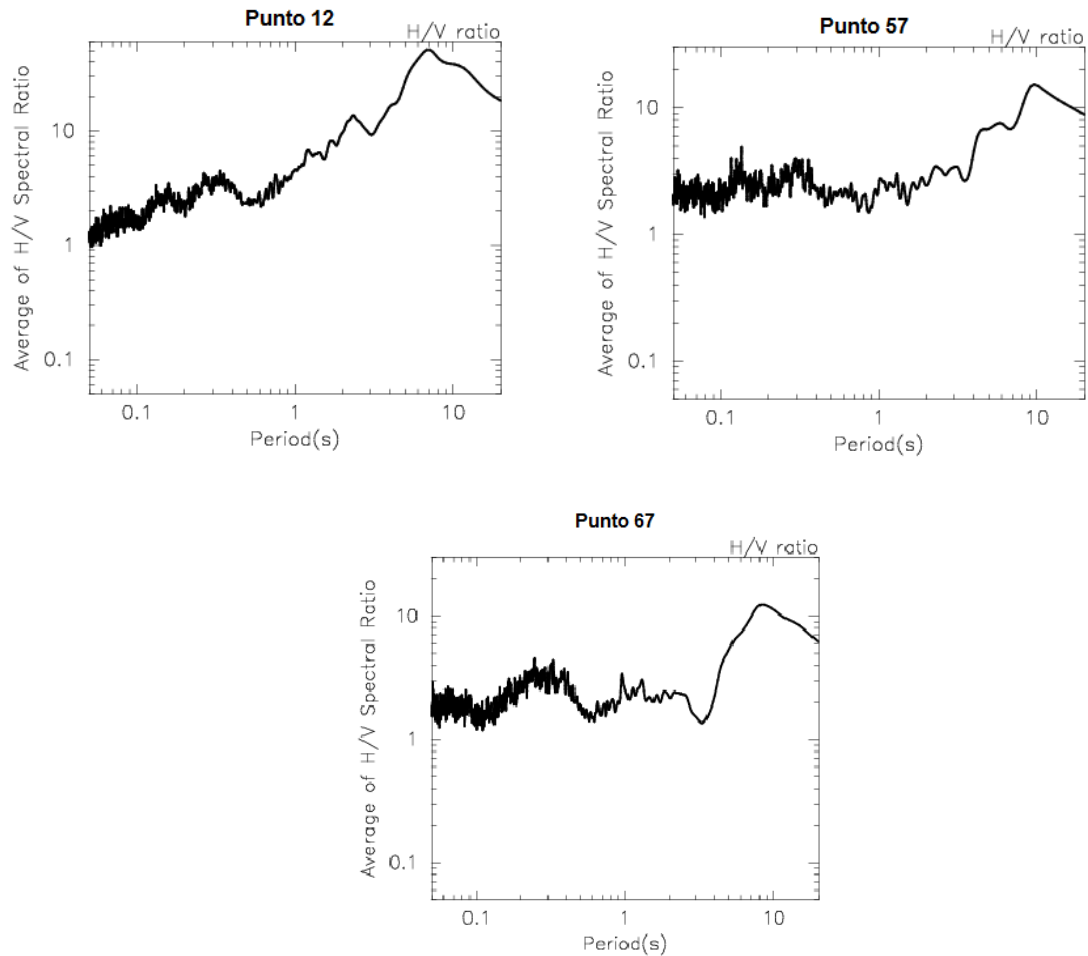


Figura 31. Ejemplo de funciones de transferencia empíricas (FTE) obtenidas de los puntos 12, 57,67 cada una de estas funciones representativas para los suelos en el RURD.

Para el análisis de estas curvas se tomó en cuenta los valores de los períodos picos que sobresalen de cada una de las curvas, obteniéndolos mediante la intersección del eje de las abscisas (períodos) y el eje de las ordenadas (Amplitud). Se presentan ejemplos de las FTE de las gráficas realizadas por cada estación del área de estudio en el anexo 1.

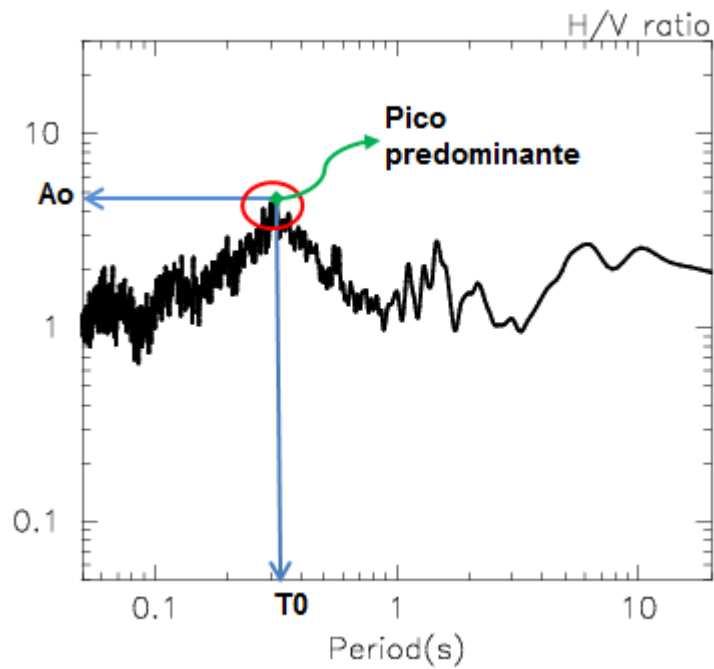


Figura 32. Ejemplo del promedio de una función de transferencia empírica (FTE) para el punto 24, donde se obtiene la amplificación y el periodo dominante del suelo, $T_0 = 0.32$ seg y $A = 4.9$.

Puede observarse en el anexo 4, los valores obtenidos de los períodos, frecuencias y amplificación de las curvas de FTE para los 109 registros de microtemores obtenidos en Recinto Universitario Rubén Darío (RURD).

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.2.1 Clasificación dinámica y agrupación de familias de curvas de las funciones de transferencia empíricas (FTE).

De los 109 puntos de registros de microtemores que se obtuvieron en este estudio, se logró agrupar los datos en dos familias de curvas de funciones de transferencia empírica (FTE), mediante el análisis de cada punto de medición. En las figuras 33 y 34 se muestran estas dos agrupaciones que representan los modos de vibrar para cada una de las estaciones de medición.

La figura 33 muestra la primer familia de curvas conformada por 53 curvas de funciones de transferencia empíricas (FTE), en las cuales se presentan suelos con Efecto de Sitio con amplificaciones que están por encima de las 2 a 7.2 veces y con periodos dominantes comprendidos entre los 0.1 a 0.30 seg. Las frecuencias fundamentales de vibración de estos suelos están entre los 3 a 10 Hz.

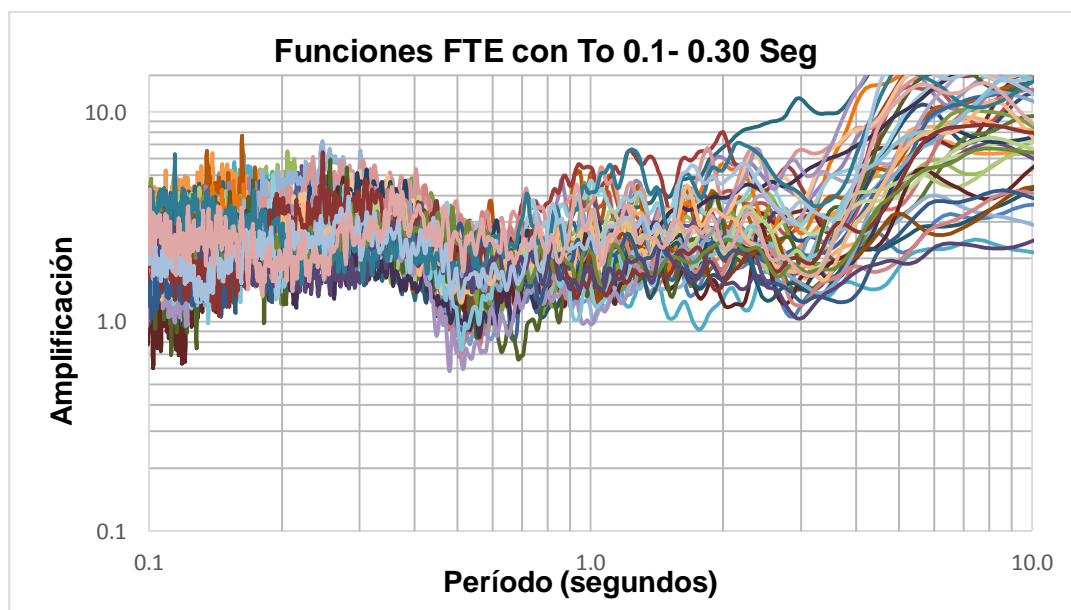


Figura 33. Familias de curvas de Funciones de Transferencia Empírica (FTE) de suelos que presentan períodos dominantes de vibración (T_o) entre los 0.1 a 0.3 seg, con amplificaciones (A_o) de 2 hasta 7.2 veces.

La segunda familia de curvas de función de transferencia empírica FTE (figura 34), está conformada por 56 curvas de FTE, en las cuales se presentan también suelos con Efecto de Sitio ya que por su modo de vibrar las amplificaciones están por encima de las 2 a 6.4 veces con periodos dominantes comprendidos entre los 0.31 a 0.50 seg y por ende sus frecuencias fundamentales entre los 2 a los 3.5 Hz.

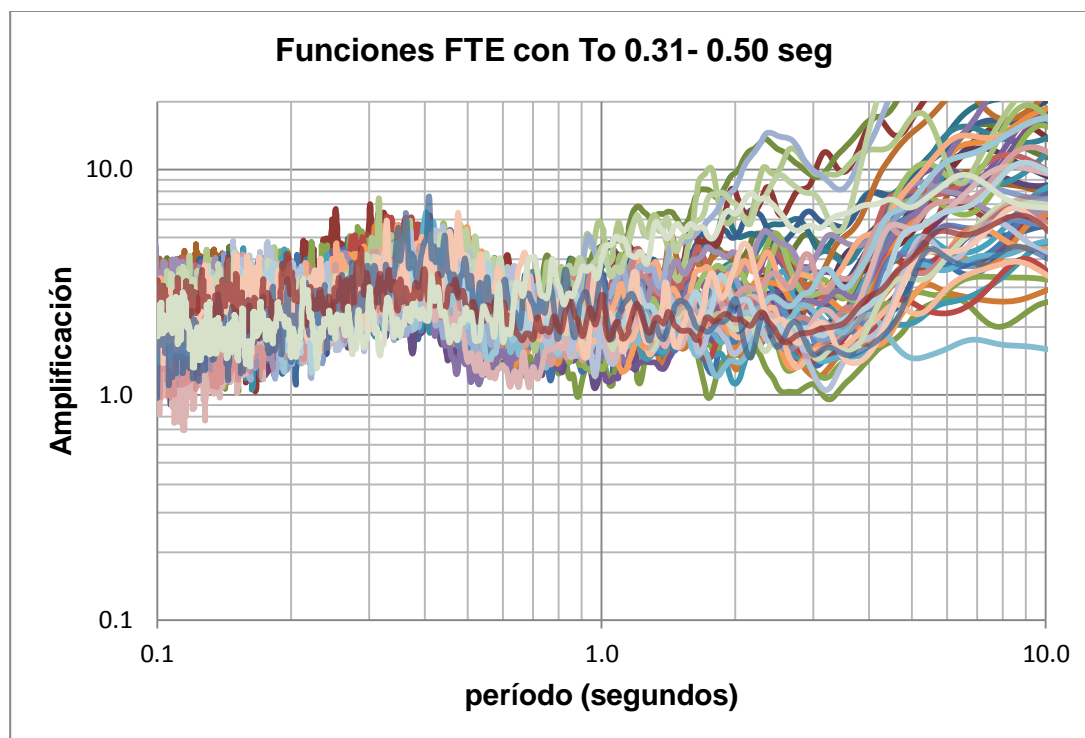


Figura 34. Familias de curvas de Funciones de Transferencia Empírica (FTE) de suelos que presentan periodos dominantes de vibración (T_o) entre 0.31 a 0.5 seg, con amplificaciones (A_o) de 2 hasta 6.4 veces.

Se elaboró para el sitio de investigación un mapa de Clasificación dinámica de los suelos tomando en cuenta el modo de vibrar de los puntos de cada estación desde P1 hasta P109 (Figura 35). Donde los puntos color verde (53 mediciones) representan la primera familia de curvas FTE presentadas en la figura 34. De igual manera los puntos color amarillo (56 mediciones) corresponden a la segunda familia de curvas con periodos entre 0.31 s a 0.5 s presentadas en la figura 34. Esta clasificación dinámica se realizó analizando los valores de período y amplificación del suelo en cada registro de medición.

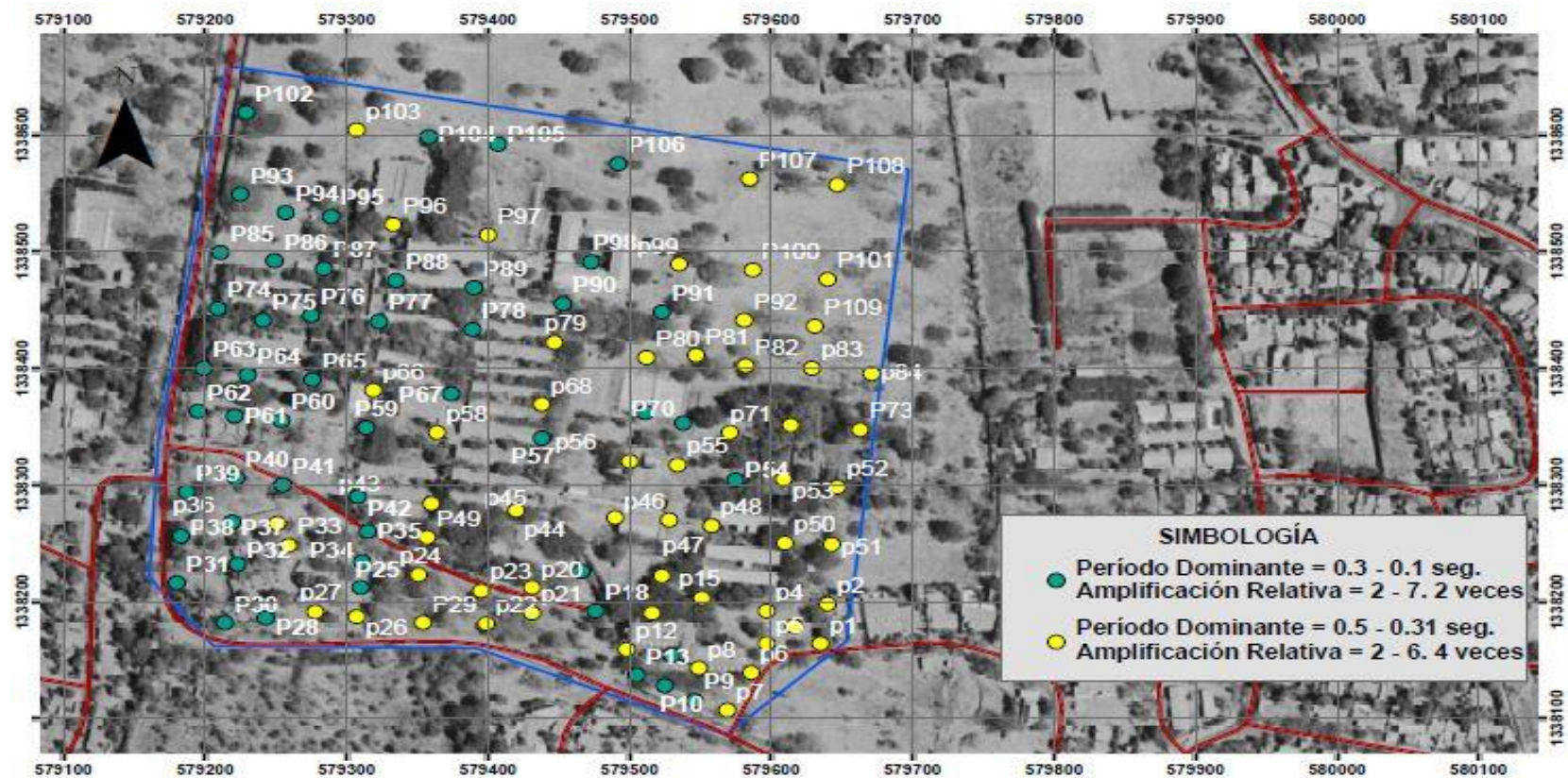


Figura 35. Clasificación dinámica de los 109 puntos de mediciones de Microtremores.

5.2.2 Micro-zonificación dinámica de los suelos del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua.

Como resultado de la clasificación dinámica de los 109 puntos de medición de microtemores de los suelos del RURD, se realizó una microzonificación sísmica del área, la cual, se muestra en la figura 36, donde se han definido y delimitado las dos zonas en base al período y la amplificación del suelo:

- ❖ Microzona 1: se representa de color verde y está caracterizada por períodos dominantes entre los 0.1 a 0.30 segundos y puede llegar a tener una amplificación relativa de hasta 7.2 veces.
- ❖ Microzona 2: se representa mediante el color amarillo y se identifica con períodos dominantes comprendidos entre los 0.31 a los 0.50 segundos y los suelos de esta zona pueden llegar a tener una amplificación relativa de hasta 6.4 veces.

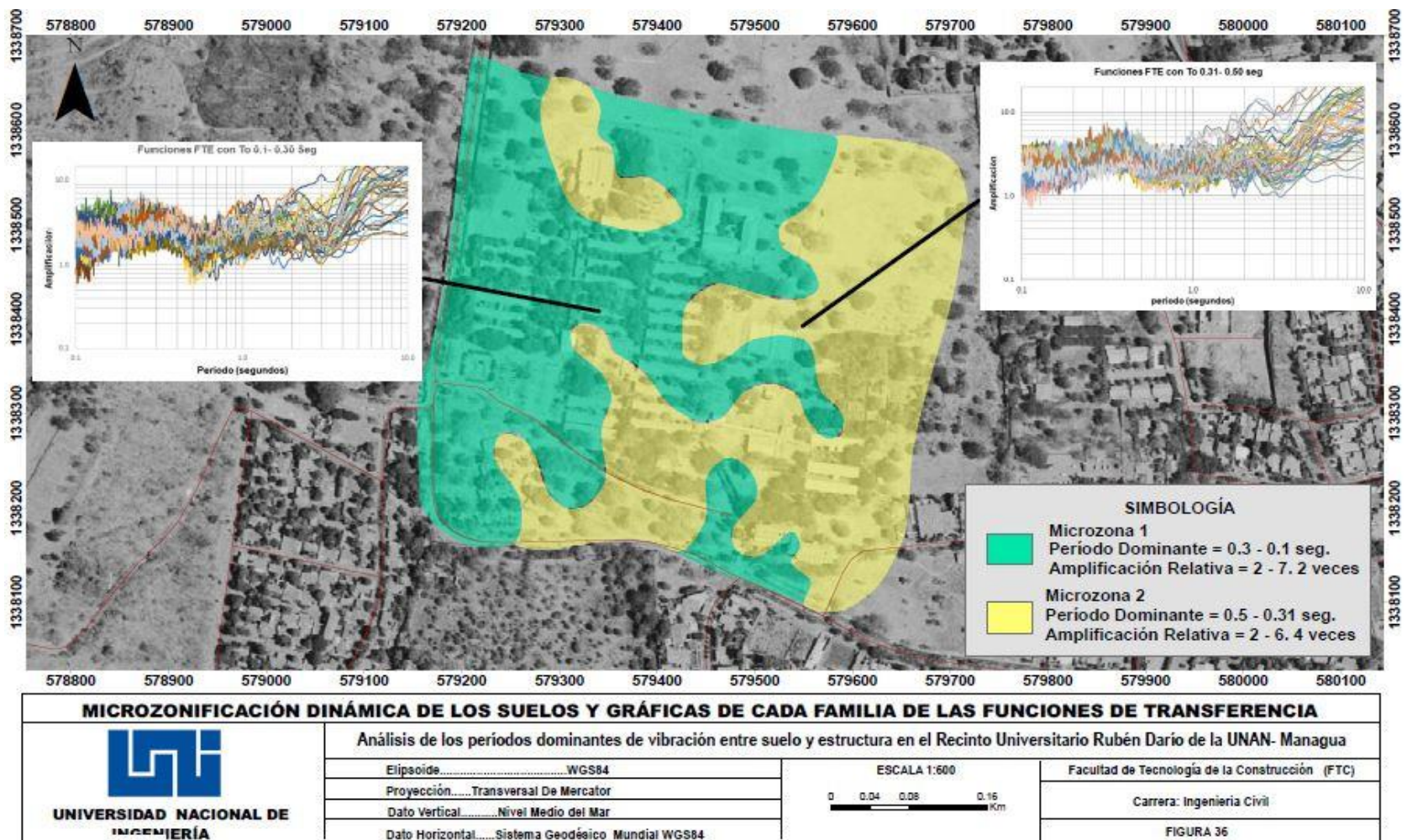


Figura 36. Micro-zonas sísmicas encontradas en el RURD, según la forma de vibrar de los suelos acompañadas de las familias de curvas representativas para cada Microzona.

5.2.3 Determinación de modelo de velocidades Vs y Vp.

De las 109 mediciones de microtemores realizadas en el área de estudio fueron seleccionados dos puntos para determinar el perfil de velocidad (1-D) del subsuelo en los cual se obtiene información de los espesores de capas, densidades, profundidades y velocidades de las ondas sísmicas P (V_p) y S (V_s), correspondientes a los puntos 86 y 24. El modelo de velocidad obtenido en el punto 86 pertenece a la microzona 1 y el perfil de velocidad para el punto 24 se localiza en la microzona 2.

Para la obtención de los modelos de velocidad de los puntos anteriormente mencionados se utilizó el método del modelado directo, este consiste en proponer un modelo inicial con parámetros similares de nuestra área de estudio, los cuales son: espesor, velocidad de corte, velocidad de onda P y densidad; haciendo uso del programa RayHVSH (Kiminobu Eto, 2004), el cual genera una curva teórica de la función de transferencia Empírica (FTE) que es estimada en base a los parámetros iniciales del modelo y se compara con una curva de FTE que es calculada para el punto de medición. En la modelación del subsuelo se trata tener una aproximación de una curva teórica estimada en relación a la función de transferencia Empírica (FTE) calculada y aproximar un pico que es el período predominante de vibración del suelo.

Para el ajuste de esta curva se modificaron algunos de sus parámetros hasta tener la mayor aproximación de los picos predominantes de esta con los de la curva de FTE que se obtuvo en campo. Las figuras 37 y 38, muestran en color rojo el modelo teórico (FTT) y en color negro, Verde y azul la curva calculada (FTE) del punto 24 y 86 respectivamente. Además de una tabla de valores que se muestra a la derecha con los parámetros del modelado (profundidad, espesor, V_s , V_p y densidad) en el que se pueden apreciar 10 estratos.

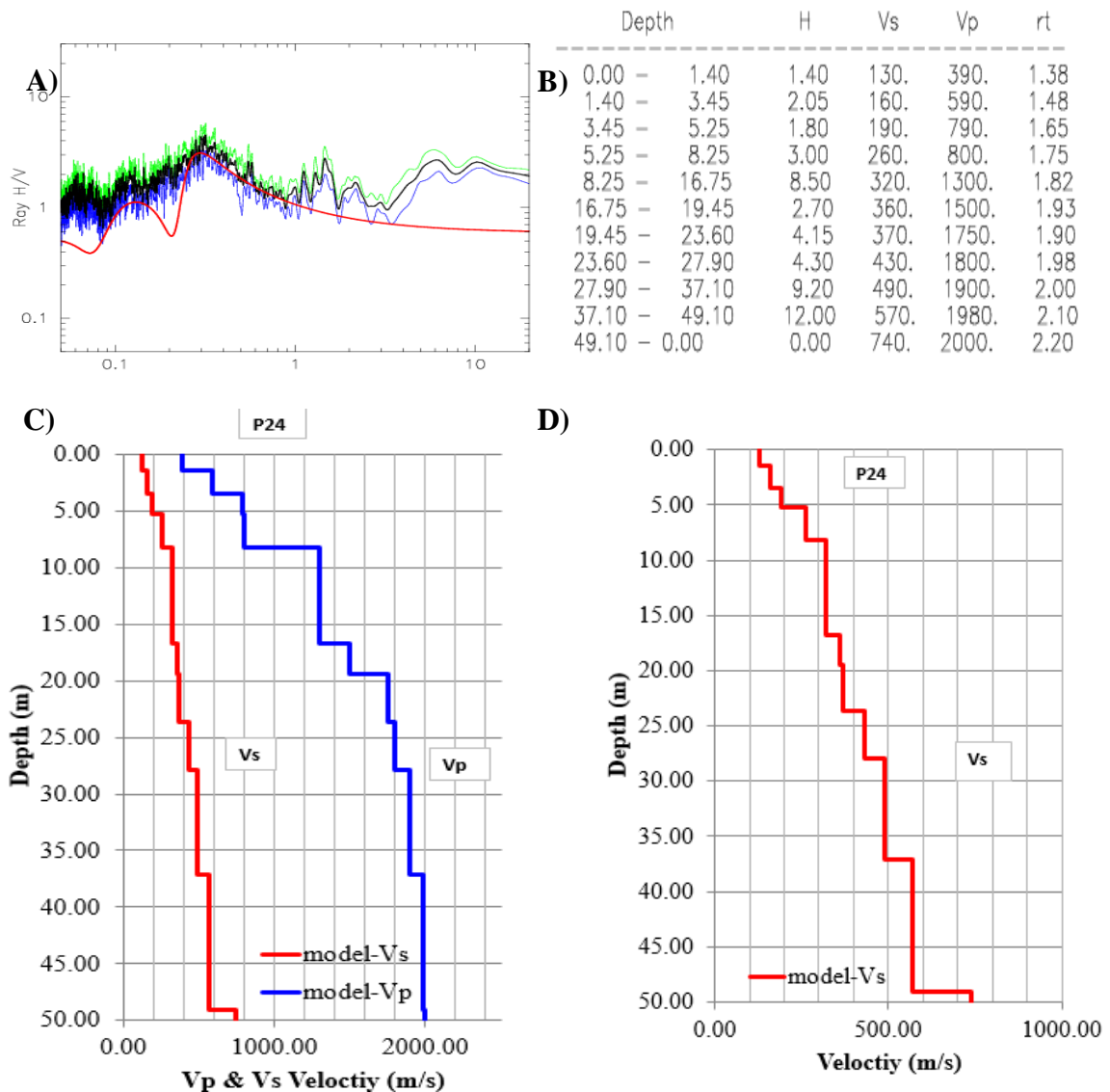


Figura 37. Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre periodos de 0.31 -0.5 segundos (Microzona 2), el modelo corresponde a la estación de medición P24 y alcanza una profundidad de 49.10m. A) Curva teórica de la función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

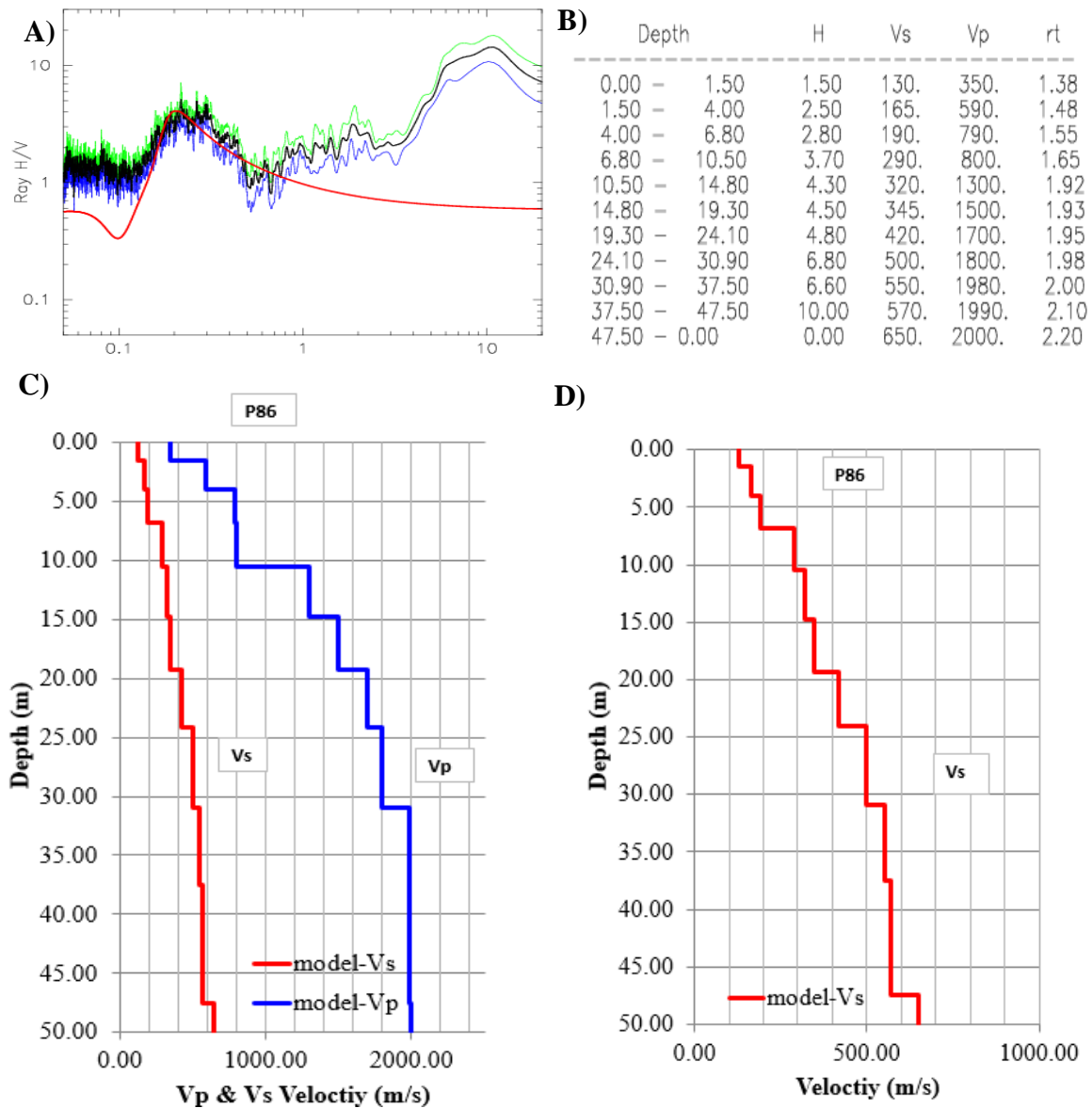


Figura 38. Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre períodos de 0.1 -0.30 segundos (Microzona 1), el modelo corresponde a la estación de medición P86 y alcanza una profundidad de 47.50m. A) Curva teórica de la función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

Una vez obtenido los modelos anteriores se prosiguió a la determinación de la velocidad cortante promedio la cual se determina mediante la ecuación 16 del presente documento, basada en el artículo 25 del RNC-07.

Dónde: V_s = Velocidad de la onda de corte promedio.

Obteniéndose los siguientes valores para el punto 24 y 86:

$$V_{s\ 24} = \frac{49.1}{0.138} = 351.466 \text{ m/s} \quad (20)$$

$$V_{s\ 86} = \frac{47.1}{0.142} = 334.817 \text{ m/s} \quad (21)$$

En base al artículo anteriormente señalado clasificamos el suelo según nuestros cálculos como suelos de tipo III que de acuerdo al reglamento nacional de la construcción corresponden a suelos moderadamente blandos para rangos de velocidad de corte $180\text{m/s} \leq V_s \leq 360\text{m/s}$ como se muestra en la tabla 3. Dicha clasificación concuerda también con la de la National Earthquakes Hazard Reduction Program (NEHRP) como un sitio de clasificación D o suelo suave.

De acuerdo a los modelos de velocidades de las ondas de corte obtenidos en el área de estudio, se logró estimar perfiles de suelos los cuales se muestran en el anexo 3.

5.2.4 Determinación de períodos dominantes en las edificaciones

5.2.4.1 Caracterización de las edificaciones.

Los sistemas constructivos que se están utilizando en la actualidad en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua, son estructuras livianas que representan el 13% de las edificaciones (Castro &Borge). Dentro de este tipo de construcción se encuentran el pabellón 56, pabellón 62 y las aulas de ingeniería civil (pabellón 68) que fueron elegidas para este estudio y con el propósito de

estimar su periodo de vibración y hacer una para comparación con los periodos de vibración del suelo.

Las edificaciones seleccionadas son construcciones de dos plantas que presentan en el extremo muros de concreto reforzado para soportar las fuerzas laterales de sismo y columnas de acero (Perlines) en los centros y divisiones del edificio. Cuenta con un corredor que está totalmente en voladizo sujeto solamente a los extremos del edificio con un claro de más de 50 m.

La figura 39 muestra la idealización de la tipología típica que actualmente está implementada en los edificios del RURD.

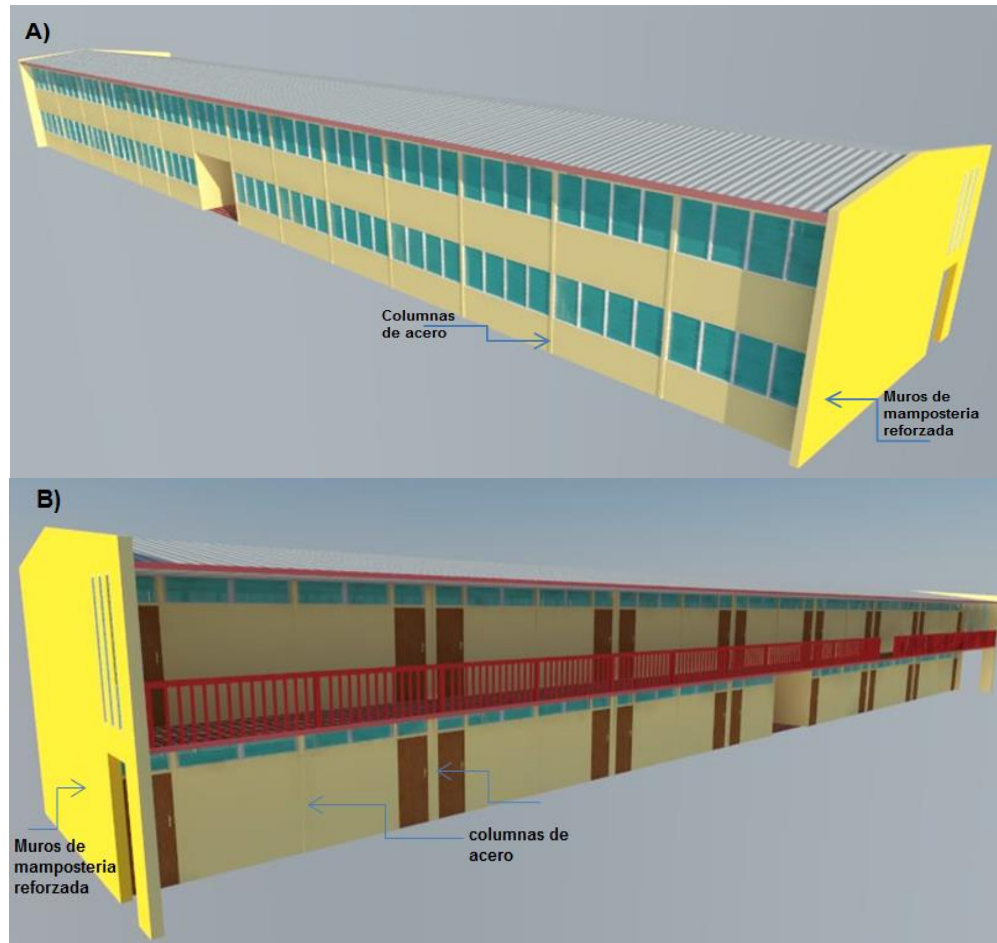


Figura 39. Tipología de sistema constructivo A) Isométrico representando la parte posterior del edificio B) Vista isométrica de la parte frontal de los pabellones.

5.2.4.2 Mediciones de microtemores en pabellones del RURD de la UNAN-Managua.

Para este análisis se ha tomado en cuenta 3 estructuras (véase figuras 40,42 y 44) características del recinto universitario, en este caso los pabellones de dos plantas en los cuales se han realizado 5 puntos de medición por cada uno.

Las mediciones de microtemores fueron realizadas en la segunda planta de cada pabellón colocando el equipo acelerómetro McSEIS-MT NEO y sus sensores sísmicos en cada extremo y en la parte central de los pabellones, generándose un total de 15 mediciones para cada estructura, de los cuales se obtuvieron las gráficas de las funciones de transferencia empírica como se aprecia en las figuras 41,43 y 45. A partir de estas se han determinados los períodos dominantes de las estructuras mostradas en las tablas 5,6 y 7.



Figura 40. Estructura de análisis pabellón 68 donde se realizaron registro de microtemores.

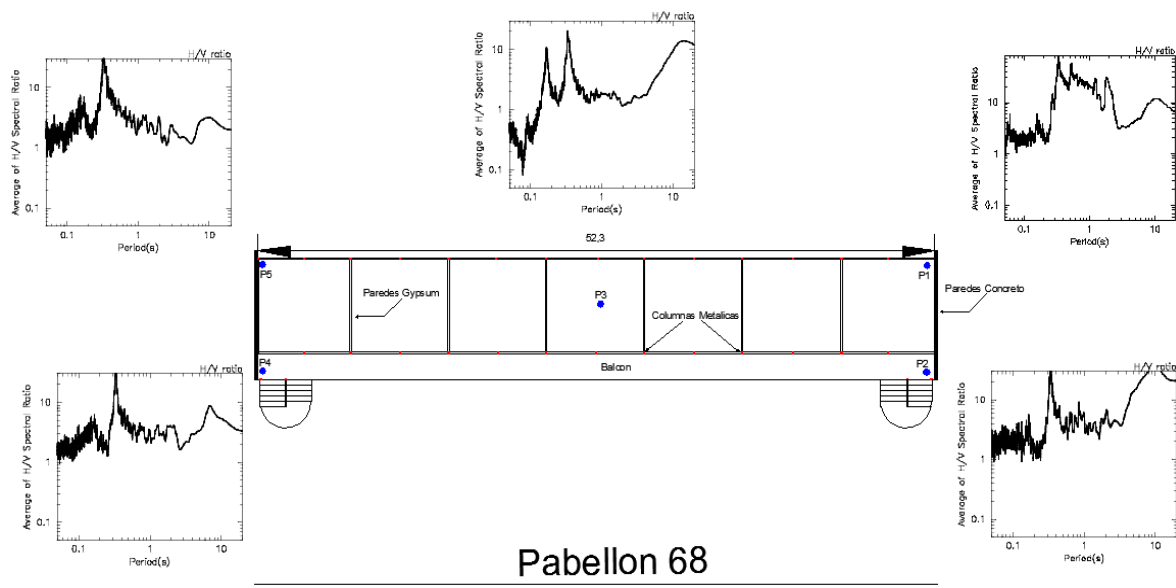


Figura 41. Puntos de medición de microtrémores del pabellón 68.

Tabla 5. Períodos de Vibración para cada uno de los puntos medidos en el pabellón 68.

Pabellón 68			
Punto	To (s)	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
P1	0.32	579638	1338465
P2	0.35	579638	1338469
P3	0.32	579610	1338467
P4	0.35	579582	1338469
P5	0.32	579582	1338465



Figura 42. Estructura de análisis pabellón 62 donde se realizaron registro de microtremores.

Las mediciones de microtremores en el pabellón 62 se realizaron en su planta de entreseno cuya configuración es rectangular constando de dos escaleras en los extremos y un corredor de aproximadamente 50m.

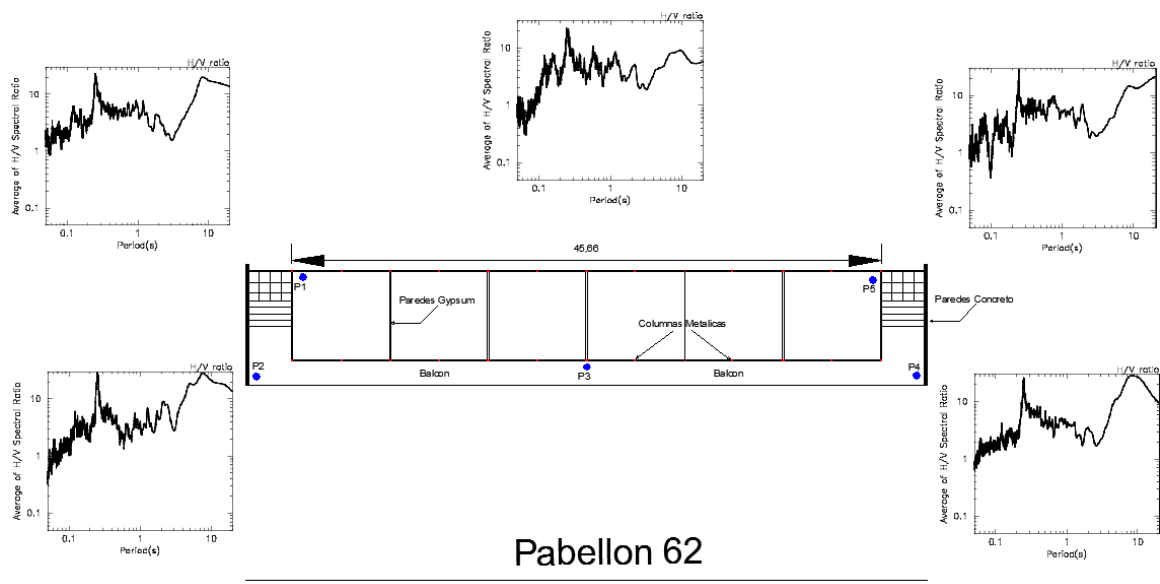


Figura 43. Planta de entreseno pabellón 62 donde se realizaron mediciones de microtremores.

Tabla 6. Períodos de Vibración para cada uno de los puntos medidos en el pabellón 62.

Pabellón 62			
Punto	To (s)	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
P1	0.28	579578	1338403
P2	0.27	579578	1338410
P3	0.27	579604	1338407
P4	0.28	579630	1338403
P5	0.28	579630	1338410



Figura 44. Estructura de análisis pabellón 56 donde se realizaron registro de microtremores.

El pabellón 56 es una de las tipologías constructivas modernas del recinto, esta consta de columnas de acero y marco de concreto reforzado en los extremos, cuya planta de entrepiso es rectangular y sus dimensiones son aproximadamente de 52m x 9m.

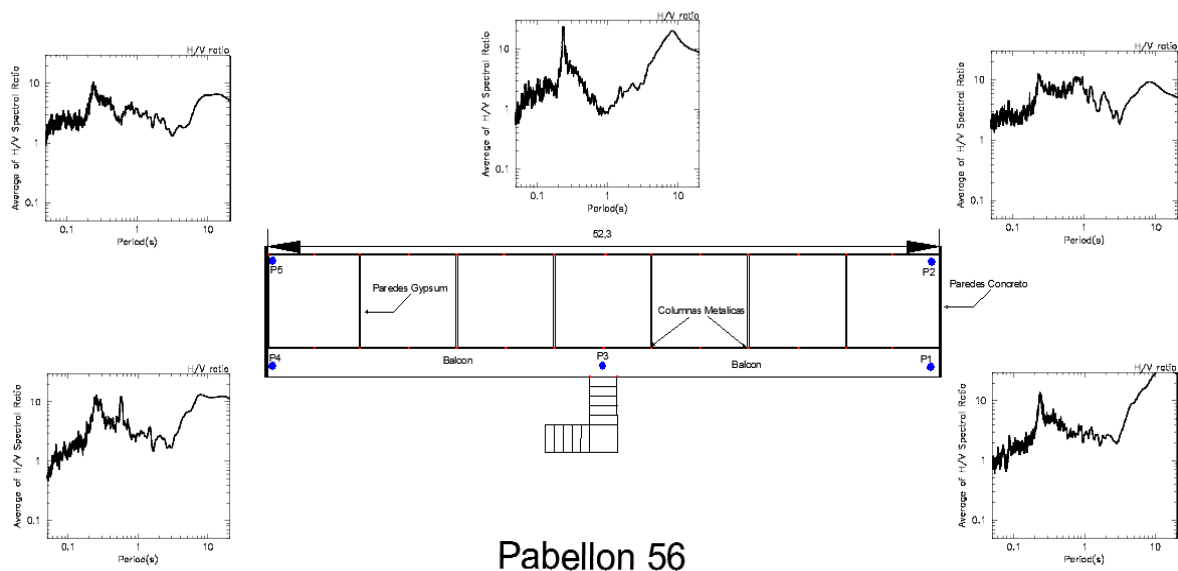


Figura 45. Estructura de análisis pabellón 56 donde se realizaron registro de microtremores.

Tabla 7. Períodos de Vibración para cada uno de los puntos medidos en el pabellón 56

Pabellón 56			
Punto	To (s)	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
P1	0.25	579608	1338240
P2	0.24	579608	1338251
P3	0.25	579580	1338245
P4	0.27	579553	1338251
P5	0.24	579553	1338240

Luego de la obtención de los períodos de los edificios se procedió a agrupar en una familia de curvas las funciones de transferencia empírica (FTE) por cada pabellón. Se logró estimar los períodos de vibración dominante para cada estructura analizada. Puede observarse en el anexo 2, los valores de períodos y las curvas de FTE cada estación medida en los pabellones.

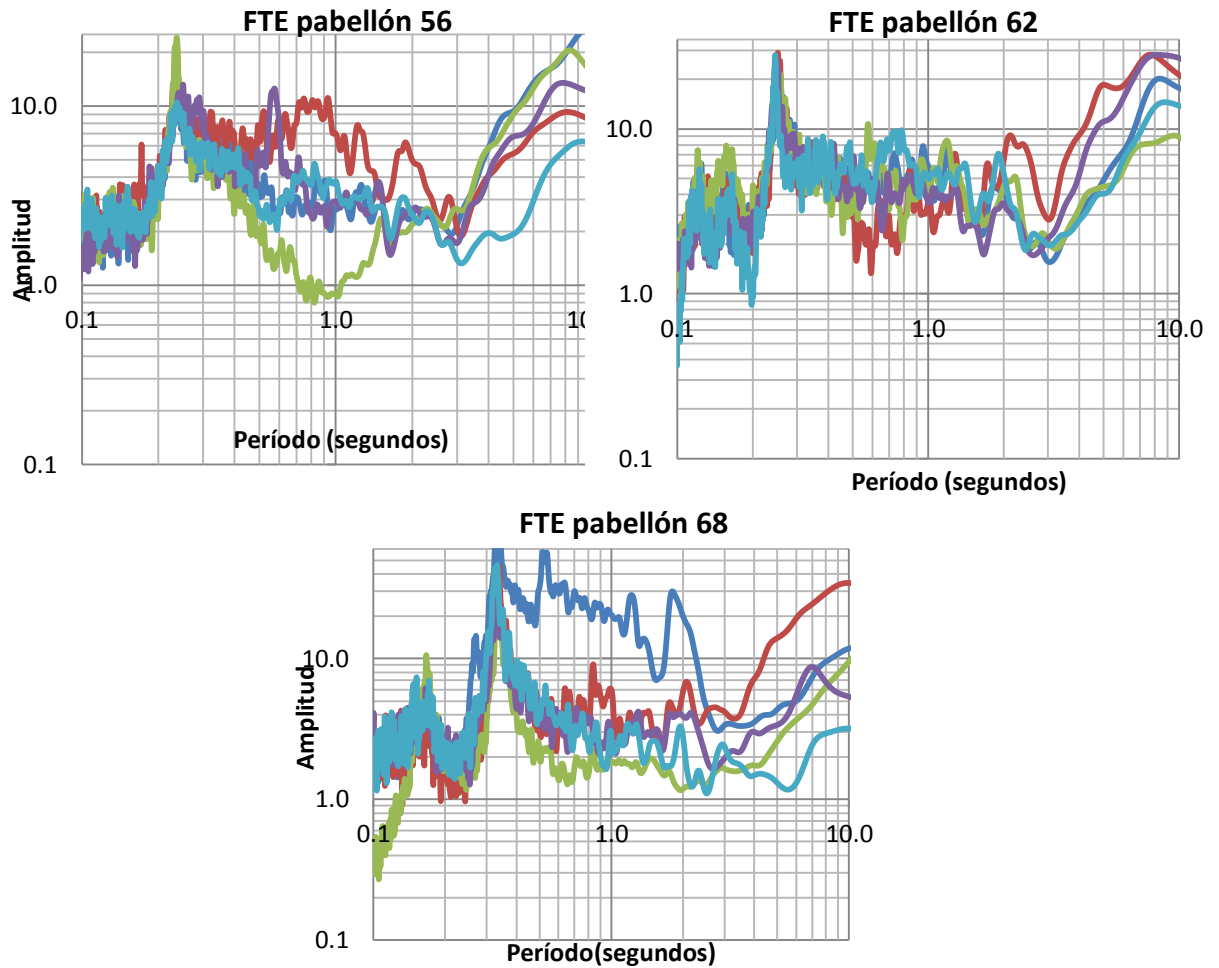


Figura 46. Períodos de vibración y Familias de Función de transferencia empírica para cada pabellón.

Como resultado de la agrupación de familias de curvas los pabellones 56 y 62 su período dominante corresponde al rango entre 0.2 a 0.3 segundos y el pabellón 68 (Aulas de ingeniería civil) su rango de vibración es de 0.3 a 0.4 segundos.

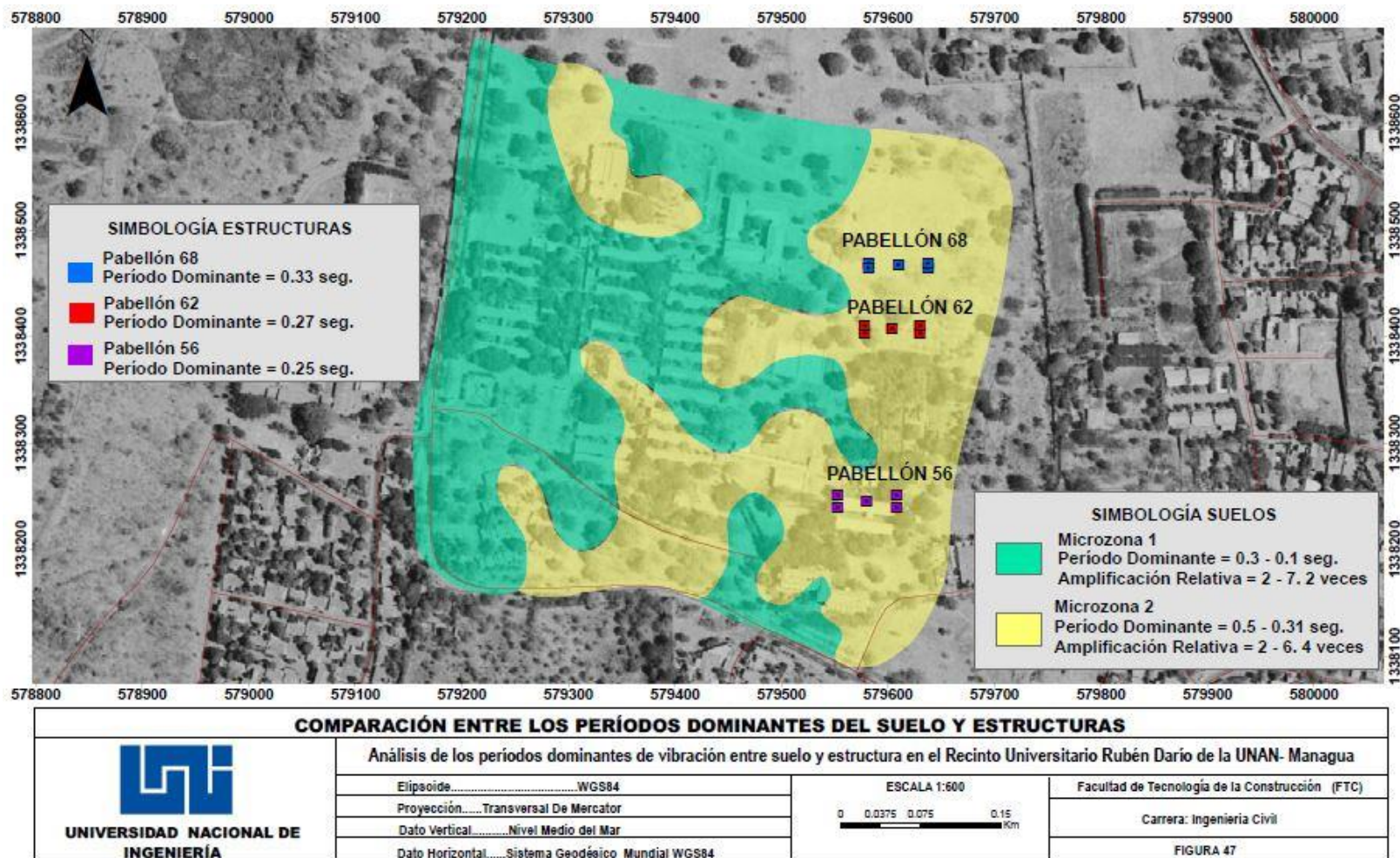


Figura 47. Mapa de Localización de puntos de medición de las estructuras y comparación con Microzonas encontradas en el RURD.

5.2.5 Cálculo de espectro de respuesta de sitio.

Obtenidos los modelos de velocidades de la onda de corte (v_s) para cada microzona definida en el área de estudio, se procedió a evaluar la respuesta sísmica de sitio, haciendo uso del acelerograma del terremoto de Managua de 1972, a través del software “SR” desarrollado en el programa MATLAB (versión 9) por el Msc. Edwin Nadir Castrillo Osorio, Docente -Investigador del IGG-CIGEO/UNAN-Managua.

En la figura 48 se muestra la interfaz del programa “SR” en el cual previamente se definen las características geotécnicas de cada sitio de análisis. Los parámetros de entrada del suelo corresponden a los modelos de velocidades obtenidos por la técnica de Nakamura (H/V) para los dos modelos de velocidad obtenido por cada microzona, los cuales se exportaron como archivos de datos de Excel.

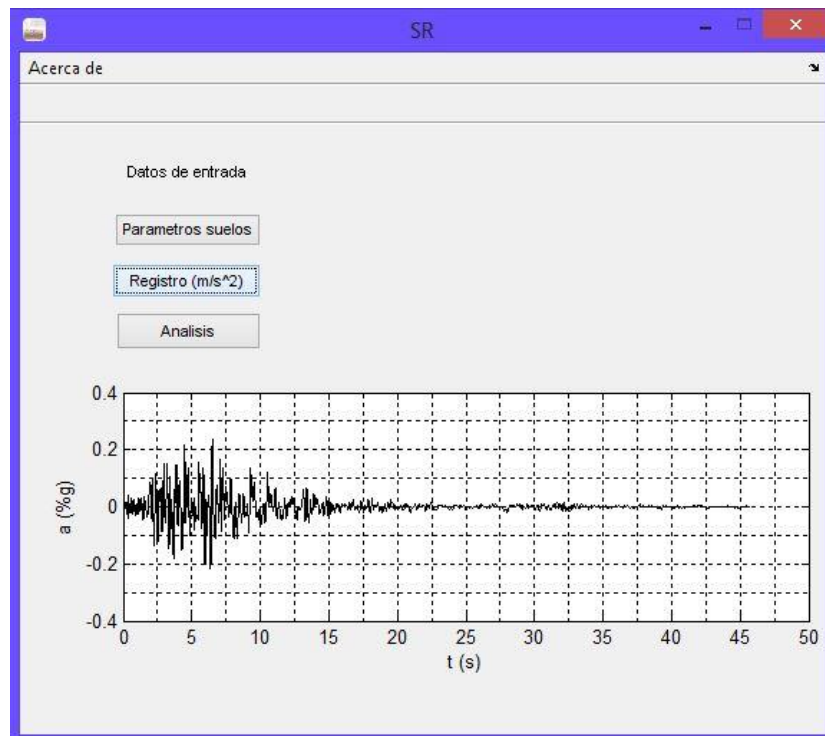


Figura 48.Interface gráfica de software SR para la obtención de espectros de respuesta de sitio.

Finalmente por medio del análisis con el programa SR se obtuvieron espectros elásticos de respuesta de sitio para cada microzona utilizando los parámetros dinámicos de los suelos generados por los modelos de velocidad obtenidos para los puntos de las estaciones P24 Y P86. Además, se creó espectros de respuesta suavizados usando las ecuaciones del Reglamento Nacional de la Construcción vigente en Nicaragua (RNC-07).

En los espectros de respuesta elástico se utilizó una fracción del 5% de amortiguamiento crítico.

Para este cálculo se ha tomado en consideración como escenario sísmico el registro del evento principal del terremoto ocurrido en Managua el 23 de Diciembre del año 1972 con magnitud de 6.2°, abarcando una distancia epicentral de 8.0 km. Dichos parámetros focales obtenidos de la estación sísmica de la refinería ESSO.

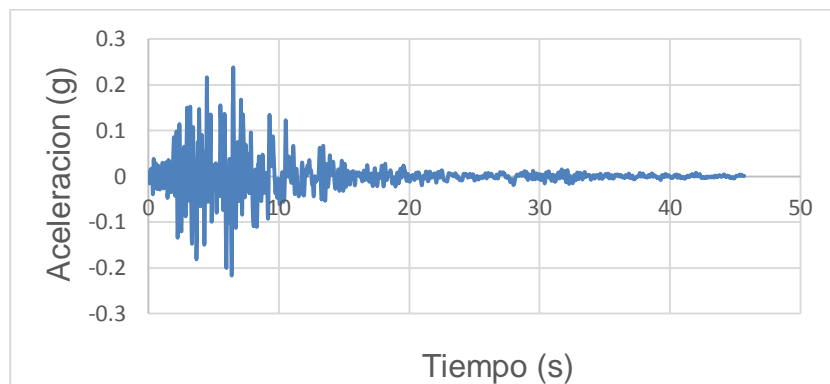


Figura 49. Acelerograma en roca del terremoto de 1972.

Este acelerograma sirvió de entrada para la obtención de los espectros elásticos de respuesta (Pseudo- aceleración) de los puntos de medición ubicados en el sector NE, punto 86, y punto 24 correspondiente a la zona SW del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis lineal equivalente en términos de espectros de respuesta para la zona con el objetivo de identificar los periodos dominantes y la máxima aceleración espectral.

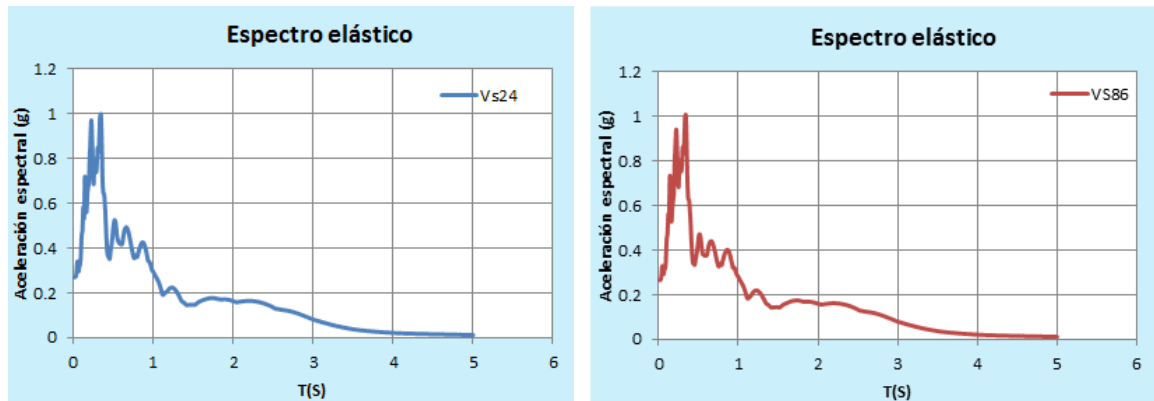


Figura 50. Espectros elásticos de respuesta para los modelos de velocidad cortante (VS) usando el registro del sismo de Managua de 1972.

Los resultados muestran que en el espectro elástico de respuesta del modelo Vs del punto P24 (Microzona 2) se observan aceleraciones espectrales de hasta 0.99 g en el período comprendido en 0.22 segundos. Por otra parte en el espectro elástico de respuesta del modelo de velocidad de corte (Vs) del punto 86 (Microzona 1), alcanzan aceleraciones espectrales de hasta 1.01 g para un período fundamental de 0.34 segundos.

5.2.5.1 Comparación de espectros de respuesta

Para la construcción del espectro de diseño para la ciudad de Managua, se utilizó el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07) .Donde tenemos que Managua se encuentra en la zona C del mapa de zonificación sísmica de Nicaragua (ver figura 51).

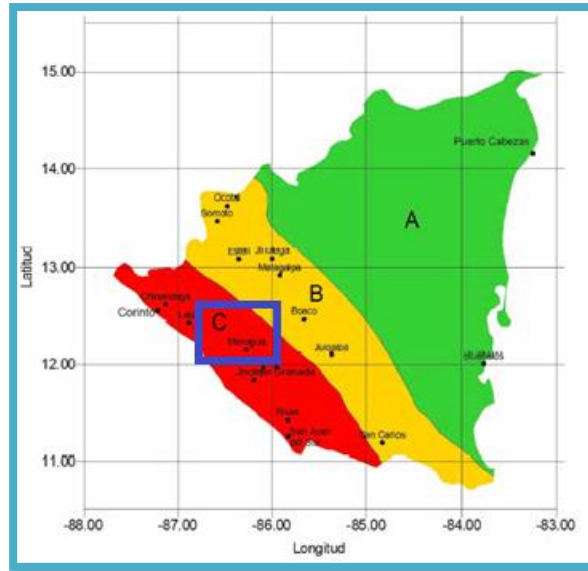


Figura 51. Zonificación Sísmica de Nicaragua (MTI, 2007)

El valor de a_0 para estructuras del grupo B y C en las ciudades dentro de la zona A el valor a_0 varía desde 0.1 a 0.16 , en la zona B el valor varia de 0.16 a 0.24 y en la zona C el valor comprende de 0.24 a 0.32.

El siguiente paso es determinar el factor de amplificación por tipo de suelo (S) con el valor obtenido del modelo realizado $V_s = 351.23$ m/s da como resultado suelo tipo III (moderadamente blando), con este valor tomamos los parámetros de la tabla 2 del Reglamento Nacional de la Construcción 2007, donde nos da un valor para el factor de amplificación de $S=2$. (Tabla 8).

Tabla 2 Factores de amplificacion por tipo de suelo, S			
Zona sismica	Tipo de suelo		
	I	II	III
A	1.0	1.8	2.4
B	1.0	1.7	2.2
<u>C</u>	1.0	1.5	<u>2.0</u>

Tabla 8. Factores de amplificación por tipo de suelo (S), parámetros tomados del artículo 25 RNC-07.

Determinamos el valor del coeficiente “ a_0 ” según el RNC-07 el cual estipula: Tratándose de estructuras del Grupo B, a_0 (isoaceleración) se selecciona del mapa de isoaceleraciones del anexo C del presente reglamento, mientras que $d=2.7a_0$, $T_a=0.1$ seg, $T_b=0.6$ seg, $T_c= 2$ seg y S es el factor de amplificación por tipo de suelo definido en el artículo 23 del reglamento, para la construcción del espectro de diseño.

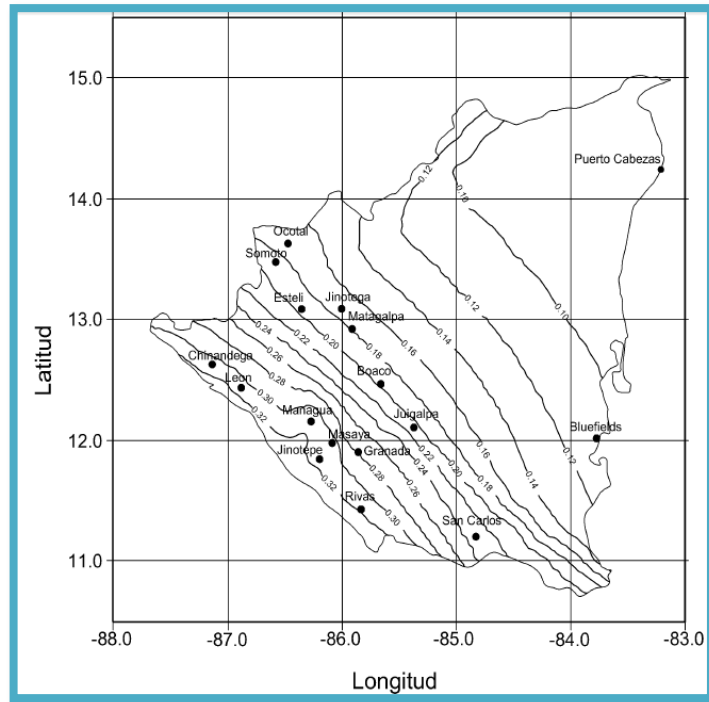


Figura 52. Mapa de Isoaceleraciones (MTI, 2007)

Coeficientes a_0 para definir los espectros de diseño en la republica de Nicaragua, para estructuras del grupo B.

Como se muestra en la figura 53 los espectros elásticos de respuesta de sitio denominados “EER Vs24 y EER Vs86” para el modelo de velocidad de corte Vs24 y Vs86, se considera un factor de amplificación por tipo de suelo igual = 2 según las condiciones del reglamento nacional de la construcción de Nicaragua, en este caso el espectro de diseño sugerido por el RNC-07 sobrepasa los espectros de respuesta de sitio lo que indica que para el recinto universitario Rubén Darío (RURD) el espectro del reglamento es adecuado.

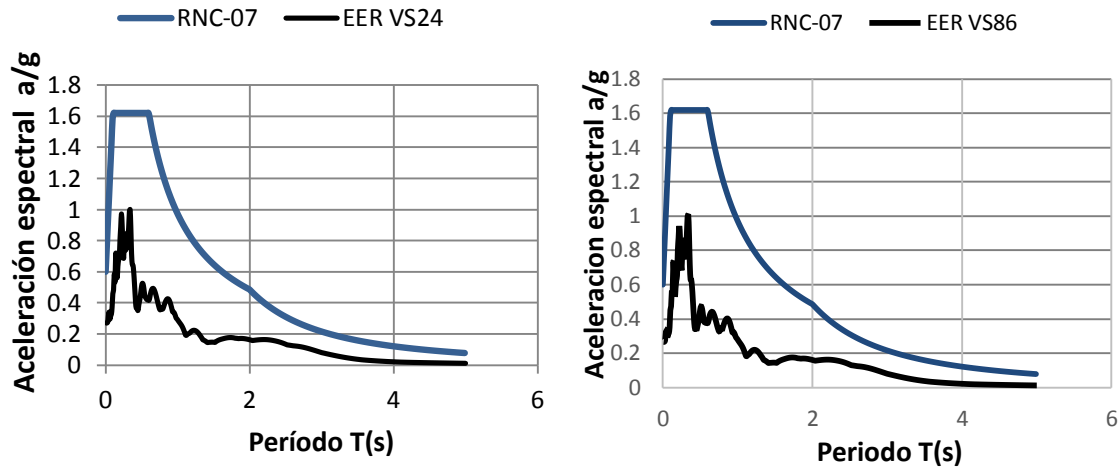


Figura 53. Comparación de espectro elástico de respuesta (EER Vs24 y EER Vs86) con espectro de diseño del RNC-07.

Considerando el factor de máxima amplitud del suelo obtenida del registro de microtemores en el sitio, se han generado espectros elásticos de respuesta como los mostrados en las figuras 54 y 55. Es posible notar claramente en ambas figuras que el espectro de respuesta del sitio es mucho más pequeño que el espectro sugerido por el RNC-07 en comparación con los generados anteriormente.

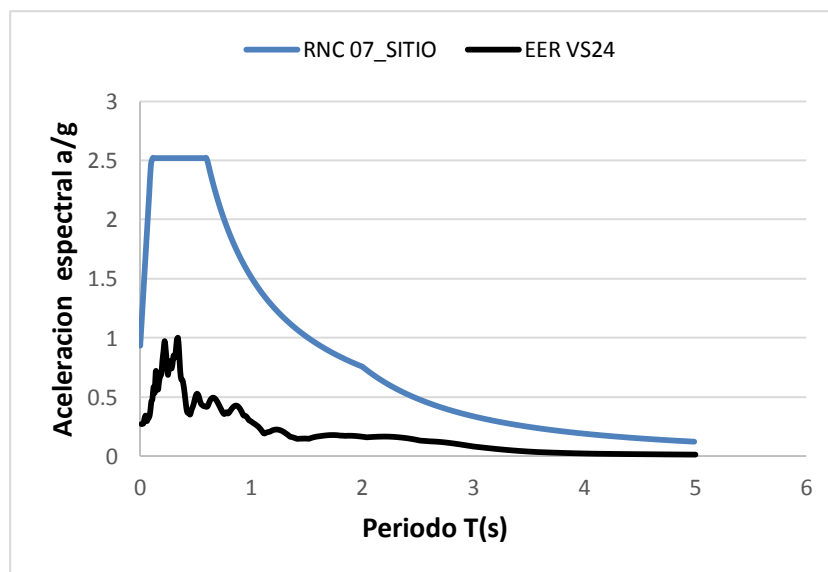


Figura 54. Comparación de espectro elástico de respuesta (EER del modelo Vs24) con el espectro RNC-07 del sitio.

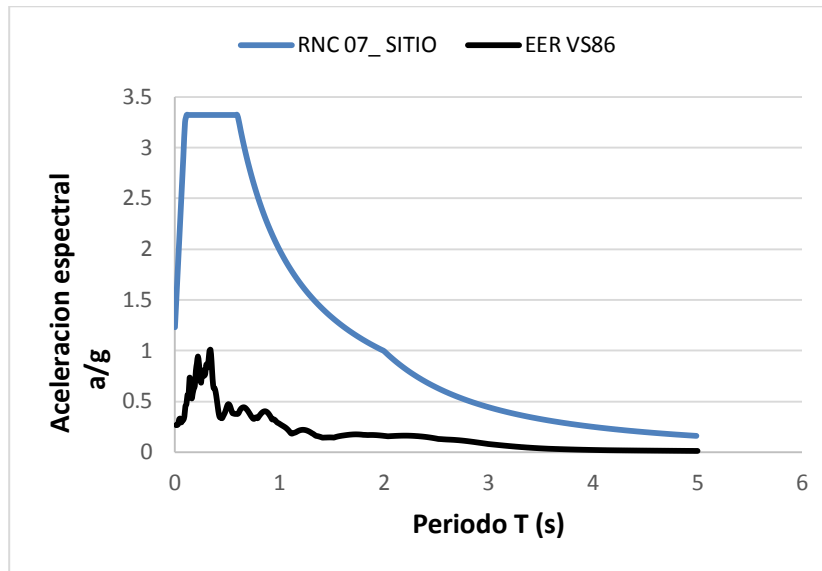


Figura 55. Comparación de espectro elástico de respuesta (EER del modelo Vs86) con el espectro RNC-07 del sitio.

Considerando que el espectro del reglamento nacional de la construcción sobre estima las ordenadas espectrales del espectro de respuesta del terremoto de Managua del 1972, en este trabajo se generaron cuatro espectros de diseño alternativos al del RNC-07.

El primer espectro propuesto llamado “Amax_sitio” considera, a_0 (isoaceleración) del registro sísmico tomando el factor de amplificación basado en la máxima aceleración de sitio de Nakamura ($F_a = 3.11$). El segundo espectro generado “RNC-07” se considera los valores de factor de amplificación ($F_a = 2$) e isoaceleración ($a_0 = 0.3$) descritos en el reglamento nacional de la construcción. En el caso del tercer espectro “ARNC_areg” se toma en cuenta el factor de amplificación por tipo de suelo según el RNC-07 y el valor de la isoaceleración del registro y el cuarto espectro “Amax” refleja el promedio de las aceleraciones espectrales de los registros obtenidos en sitio.

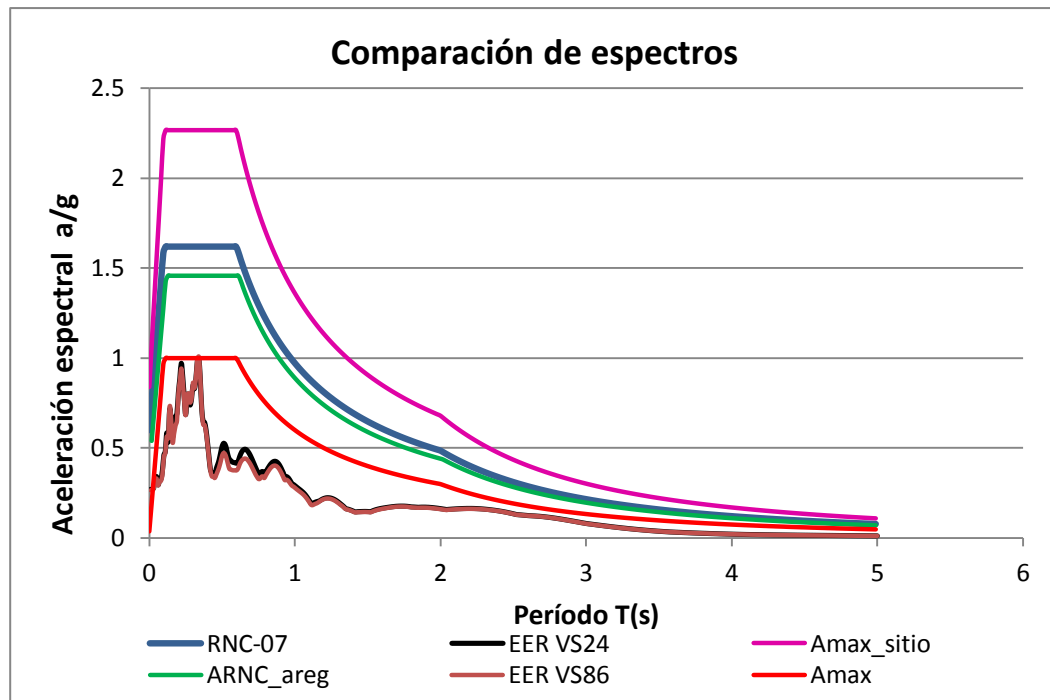


Figura 56. Comparación de espectros de diseño

En este caso se puede observar que los valores de las ordenadas espectrales del espectro promedio abarcan las aceleraciones espectrales del registro del sismo de 1972, lo que significa que este puede ser el más adecuado para el diseño de futuras construcciones en el RURD.

CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo investigativo hemos cumplidos con todos los objetivos propuestos, concluyendo con los siguientes:

- De manera general, es importante destacar que según los resultados obtenidos el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) presenta efecto de sitio o amplificación sísmica. Por otra parte, debido a la existencia de la Falla Zogaib localizada al oeste del sitio de estudio, el área se encuentra en una zona altamente sísmica por lo que esta falla geológica puede ser fuente generadora de un sismo en la ciudad capital.
- Aplicando la técnica de Nakamura, mediante las mediciones de microtemores obtuvimos las gráficas de las Funciones de Transferencia Empíricas (FTE) de las cuales se consiguieron los valores de períodos dominantes de vibración tanto para el suelo como para la edificación típica que se encuentran en el Recinto Universitario Rubén Darío (aulas de dos plantas). Estos datos se ven reflejados en la tabla 9 del anexo 4.
- Los registros de microtemores y las funciones de transferencias empíricas (FTE) de los 109 puntos medidos en la zona, demuestran la existencia de efecto de sitio en toda el área de trabajo así mismo a partir de estos registros se estableció una clasificación de la dinámica de los suelos dividiendo el área de estudio en dos microzonas conformadas de la siguiente manera:
 - La Microzona 1, muestra periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 seg. y puede llegar a tener una amplificación relativa hasta de 7.2 veces.
 - La Microzona 2, muestra periodos dominantes entre 0.31 a 0.5 seg. y puede llegar a tener una amplificación relativa hasta de 6.4 veces.
- Se estimaron modelos de velocidad de la onda de corte para cada una de las microzonas, siendo para la microzona 1; la velocidad promedio de $V_s =$

334.817 m/s y para la microzona 2; se calculó la velocidad promedio de $V_s = 351.466$ m/s. En base a esos valores fue posible clasificar el suelo en este sitio según el reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07) como suelos moderadamente blandos. Esta clasificación concuerda con el modelo de velocidad realizado por Sandoval & Santana (2016), cercano al área de estudio, además de coincidir con los estudios geotécnicos y geológicos realizados próximos al sitio que encontraron la presencia de suelos arenosos, limosos y arcillosos en este lugar.

- Se desarrollaron espectros elásticos de respuesta de sitio de acuerdo a las propiedades dinámicas de los suelos teniendo como fuente sísmica el terremoto de 1972 en Managua con $M_s = 6.2$. De la comparación de los espectros de respuesta con el espectro de diseño del RNC-07 encontramos que este último sobreestima las aceleraciones espectrales para los suelos del RURD, por esta razón se generaron cuatro espectros alternativos uno basándose en la máxima amplificación obtenida por Nakamura y a_0 del registro, otro basándose en las consideraciones del reglamento, un tercero que considera la amplificación del reglamento y el valor máximo de a_0 del registro y el último basándose en la máxima isoaceleración de los espectros de respuesta en base al registro del terremoto de 1972.
- Los modos de vibrar de las estructuras en estudio se determinaron con la finalidad de evaluar la posibilidad de presentarse el fenómeno de resonancia, como resultado según la agrupación de familias de curvas los pabellones 56 y 62 su período dominante corresponde al rango entre 0.2 a 0.3 segundos, el pabellón 68 (Aulas de ingeniería civil) su rango es de 0.3 a 0.4 segundos. Así mismo, se puede comparar con las dos microzonas establecidas, identificando que los suelos correspondientes a la ubicación del pabellón 68 vibran en el mismo rango lo que hace vulnerable a esta edificación al fenómeno de resonancia.

RECOMENDACIONES

La aproximación de los periodos dominantes de las estructuras con los períodos dominantes del suelo indican que estas edificaciones están sometidas a mayores esfuerzos y desplazamientos los cuales pueden conducir a un gran daño o incluso al colapso debido al fenómeno de resonancia sumado al efecto de sitio existente en el área de estudio. Para ello se sugiere.

- ✓ Promover la investigación científica en la universidad, de tal manera que la comunidad estudiantil se vea comprometida a la realización de estudios que garanticen una buena comparación con las investigaciones existentes o el desarrollo de nuevos conocimientos.
- ✓ Esta investigación debe ser base para la planificación de futuras construcciones en el Recinto Universitario Rubén Darío ya que aporta información valiosa del comportamiento sísmico-dinámico del suelo y para la reducción del riesgo sísmico en la Universidad.
- ✓ Realizar estudios de evaluación de períodos de vibración en las estructuras de todo el recinto universitario a fin de conocer su comportamiento ante un evento sísmico y comparar la información generada en esta tesis “*caracterización dinámica del suelo en el RURD*” aplicando la técnica del cociente espectral H/V para determinar el fenómeno de resonancia.
- ✓ Que se considere el espectro propuesto de mayor conveniencia de tal manera que no se subestime o sobreestime el diseño de las edificaciones considerando este posea criterios sismo resistente que tomen en cuenta los valores de periodos dominantes del sitio aquí expuestos. Es decir en la microzona 1 diseñar con períodos mayores a 0.3 s y en la microzona 2 períodos mayores a 0.5 s, dado que estos períodos del suelo son cortos sugerimos edificaciones flexibles con períodos largos ya sean de concreto (muros de corte especiales o marcos especiales), o de acero (marcos arriostrados excéntricos) considerando el mapa de microzonificación del

RURD de este estudio donde se muestran los periodos y amplificaciones de los suelos.

- ✓ Es necesario e importante que las autoridades universitarias, el ministerio de transporte e infraestructura y el SINAPRED tomen en cuenta este y cada uno de los estudios realizados en este recinto para la actualización de futuros reglamentos de construcción. Todo esto con el fin de mejorar tanto la calidad de las construcciones existentes como las futuras y así disminuir el riesgo sísmico en la UNAN y en la Ciudad de Managua.
- ✓ Investigaciones de este tipo deben de promoverse en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) para la adecuada planificación y ejecución de obras civiles en esta alma Mater.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, A, 1997. Estimación de los periodos dominantes de los suelos de Barcelona a partir de Microtremores. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona-España.

ALMA, Características generales del municipio de Managua.

Borge Castro & Castro Romero (2016), "Análisis de riesgo sísmico en el recinto universitario "Rubén Darío" de la UNAN-Managua, utilizando la herramienta de estimación de pérdidas S.E.L.E.N.A.", Universidad Autónoma de Nicaragua (UNAN).

Castrillo Osorio (2016), "Espectro de diseño y zonificación sísmica basada en períodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana de la ciudad de Mateare, Nicaragua".

Castrillo Osorio (2012), "Caracterización de periodos fundamentales de vibración en el antiguo sector central de Managua, basado en microtremores de periodo largo".

Castillo, W & Zepeda, E (2013), Análisis comparativo de la respuesta sísmica de sitio no lineal y lineal equivalente en el área urbana de la ciudad de Managua, Nicaragua, universidad centroamericana (UCA).

Castrillo & Ulloa (2006), Caracterización geotécnica para propósito de cimentación en el sitio donde se proyecta la construcción del estadio Nacional de Football, en la UNAN-Managua, Universidad Nacional autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua).

Chopra,A. K. (2007).Dynamics of structures: Pretice Hall New Jersey.

Dengo,G. (1985). “Mid America: Tectonic setting for the pacific margin from southern Mexico to northwestern Columbia”. The Ocean Basins and Margins, Vol 5,pp.123-180.

Escorcia, K & Ochoa, A (2013), Análisis de la respuesta sísmica de sitio y su efecto en el comportamiento dinámico de las estructuras en el área urbana de la ciudad de Managua. Universidad centroamericana (UCA).

Espinoza, F.J. (2007), “Neo tectónica de la falla Nejapa, porción oeste del graben de Managua, Nicaragua”. Tesis de maestría, instituto de Geología, UNAN-México.

Escobar, E & Corea, M. (1998). Microzonificación Sísmica de la ciudad de Managua. (Tesis para optar al título de Ingeniero Civil), Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.

Frischbutter, A. (2002). “Structure of Managua graben, Nicaragua from remote sensing images”,Geofisica Internacional, Vol.41, Num 2.

Galindo Guerra (2010). Aplicación de la técnica SPAC en la ciudad de Xalapa.

Hradecky, P. (1997). “Estudio para el reconocimiento de la Amenaza geológica en el área de Managua, Nicaragua”. Praha – Managua, instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER) y servicio Geológico Checo (SGC).

Humire Guarachi (2013). Aplicación de métodos geofísicos basados en ondas superficiales para la caracterización sísmica de suelos.

IGG-CIGEO (Febrero 2016), Estudio Geotécnico para la construcción del edificio de la facultad de las ciencias económicas de la UNAN-MANAGUA.

IGG-CIGEO (2006), “ Construcción del edificio del IGG-CIGEO”

IGG-CIGEO (2004), Estudio geotécnico residencia universitaria Arlen SIU, UNAN- Managua.

INETER, Informe técnico de actualización de fallas geológicas de Managua.

Kanai k. and Tanaka (1961). On microtremors VIII, Bulletin of earthquake research institute, Vol 39 pp97-114.

Kiminobu Eto, (2004). Wave.Fouspc and Rayhsvsh Programs. Tokyo soil Research, Co.,Ltd.,JAPAN.

Kramer, S.(1996), Geotechnical earthquake engineering. New Jersey: Pretice Hall.

Martínez Bravo (2009), Clasificación dinámica de los suelos en el área donde se proyecta construir la refinería ‘el supremo sueño de Bolívar’, Miramar, Nagarote departamento de León. UNAN- Managua.

Molnar, P. and Sykes L.R (1969), “Tectonics of Caribbean and Middle American regions from focal mechanisms and seismicity”. Geol.Soc.Am.Bull, Vol.80.

MTI (2007), Reglamento Nacional de la Construcción de Nicaragua, Ministerio de transporte e infraestructura.

Omori,F. (1909). On micro-tremor. Bull imperial Eart investigation Committe of Tokio,vol.II, 1-6.

Paiz & Bendaña (2015). “Análisis de amenaza sísmica y respuesta de sitio considerando el potencial del fallamiento superficial en el campus del Recinto Universitario “Ruben Darío”(RURD) de la UNAN-Managua

Parrales, R & Picado, M (2001), Análisis de espectros de respuesta en el área de la ciudad de Managua, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Romero, Sequeira, Castrillo & Zambrana (2015), “Microzonificación sísmica en la ciudad de Managua. Instituto de Geología y Geofísica UNAN-Managua.

Reporte N°3 de la Microzonificación Sísmica de Managua 1997.

Sebesta, J. (1997), “Dynamic development of the relief in the Managua área, Nicaragua”. Acta Univ.Carol., Geogr. 2.

Strauch W. (2000). Microzonificación sísmica de Managua: Instituto nicaragüense de estudios territoriales (INETER).

Sevilla Cano (2008) “Caracterización de sitio para la instalación de un arreglo vertical de monitoreo sísmico en la UNAN-Managua”.

Van Wyk de Vries, B. (1993), “Tectonics and Magma Evolution of Nicaraguan Volcanic Systems”. Diss.The Open University London, Dep. of Earth Sc., 328 p.

Villamizar (2011), Métodos geofísicos aplicados a la caracterización de los suelos, Universidad de Santander.

Weinberg, R.F.,(1992), "Neotectonic development of Western Nicaragua". Tectonics Vol. 11, pp. 1010-1017.

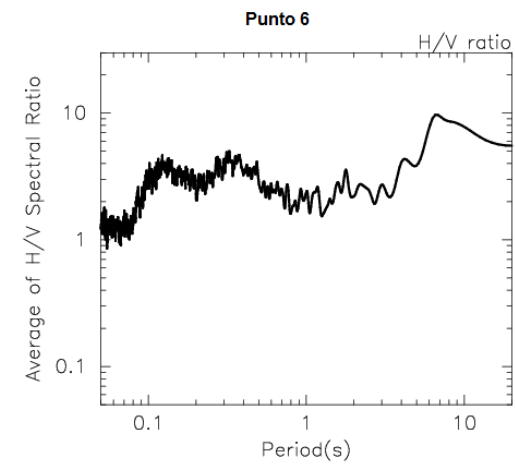
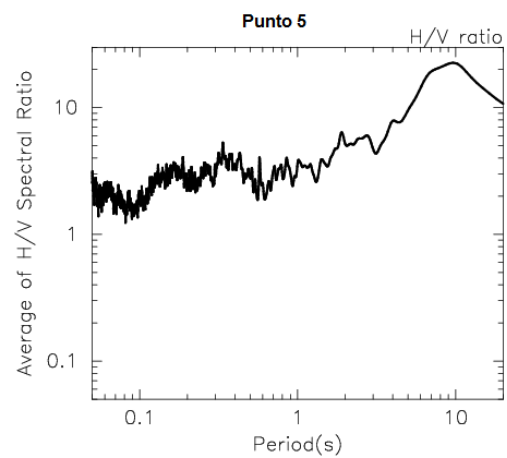
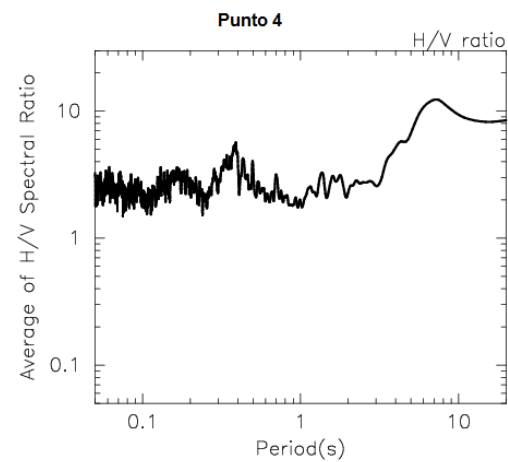
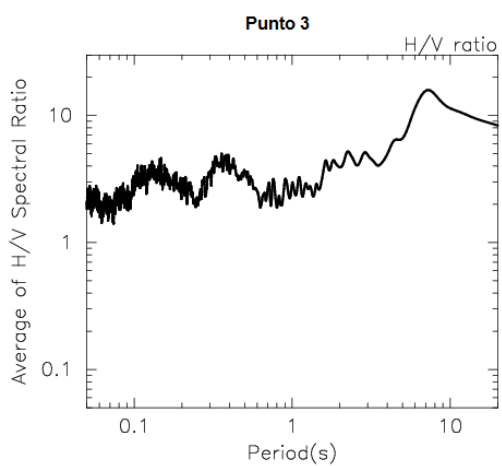
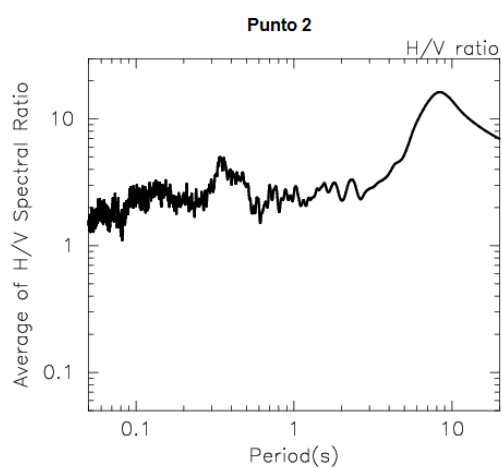
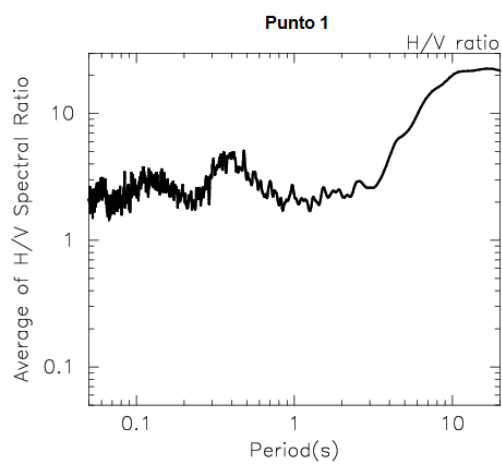
Woodward-Clyde Consultants (1975) & Moore (1990). Descripción de las fallas principales con sus respectivas denominaciones, parámetros y características.

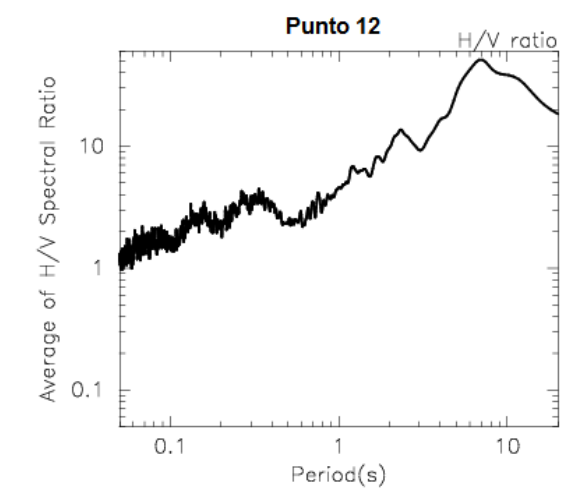
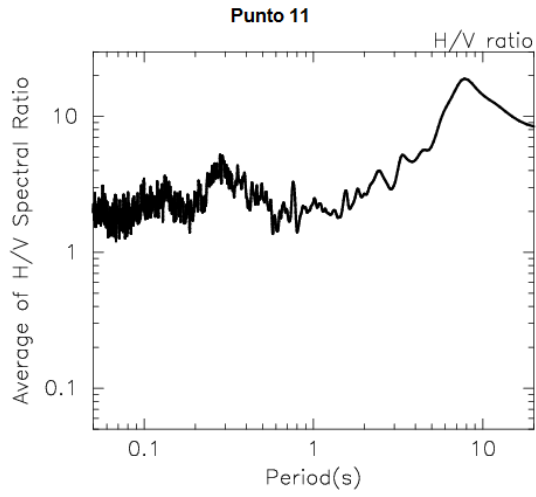
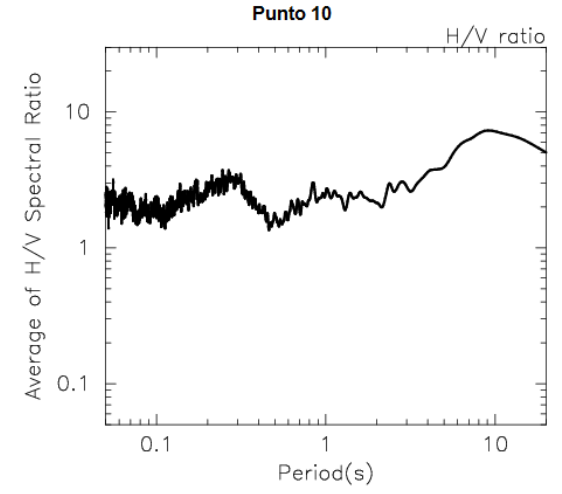
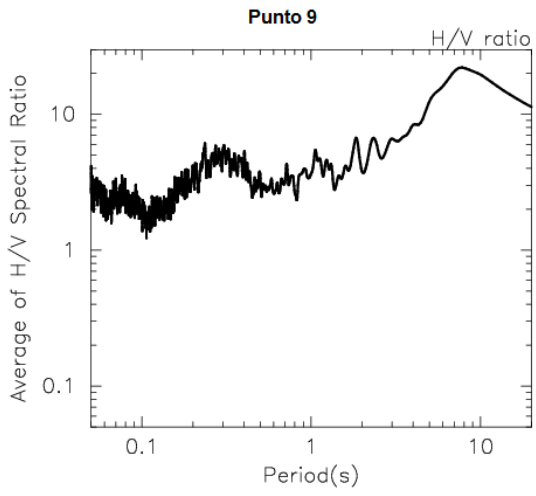
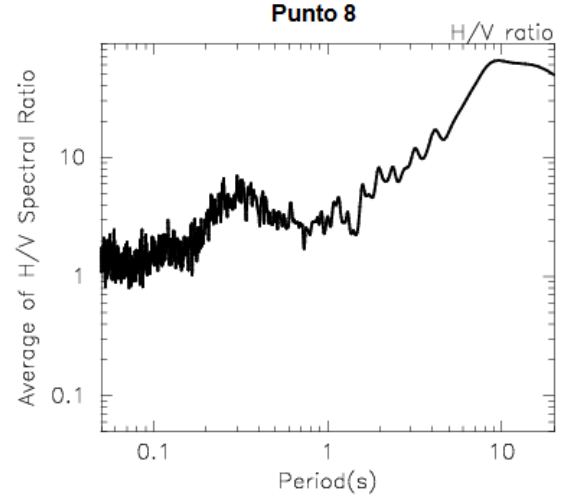
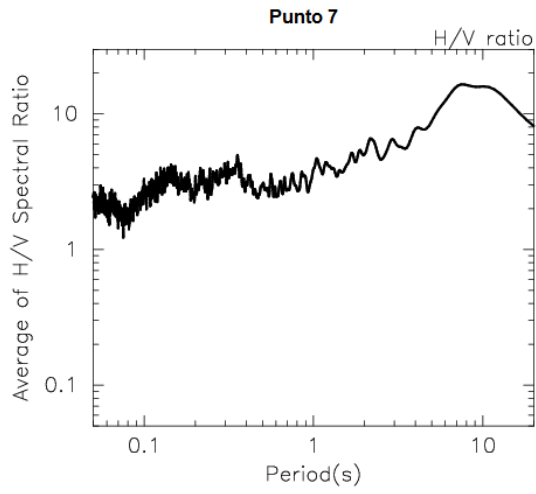
Zambrana, X., (2012). Modelamiento Geofísico en el graben del Aeropuerto, Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de México.

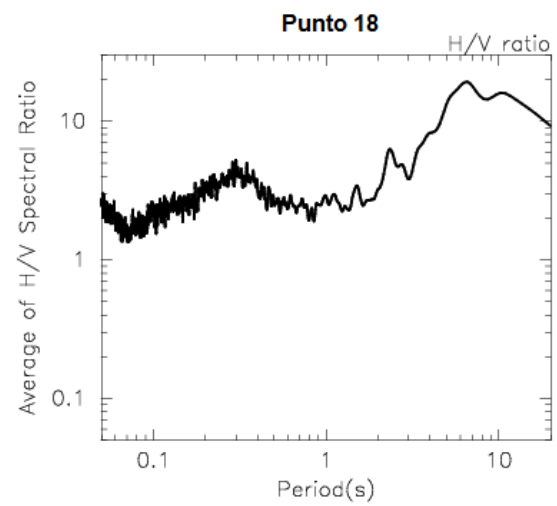
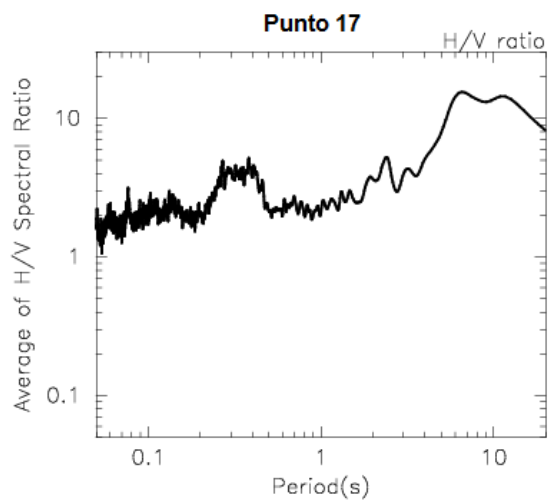
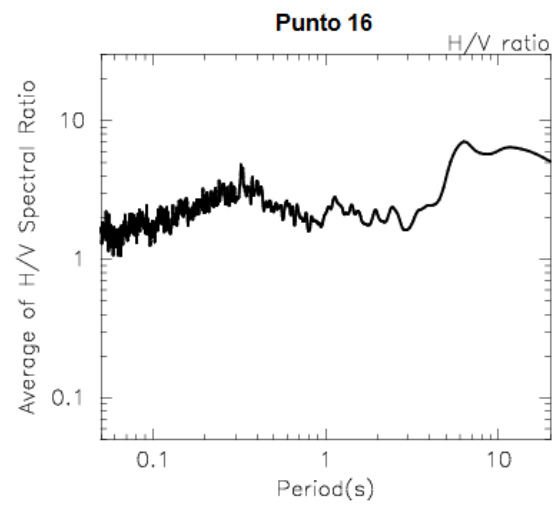
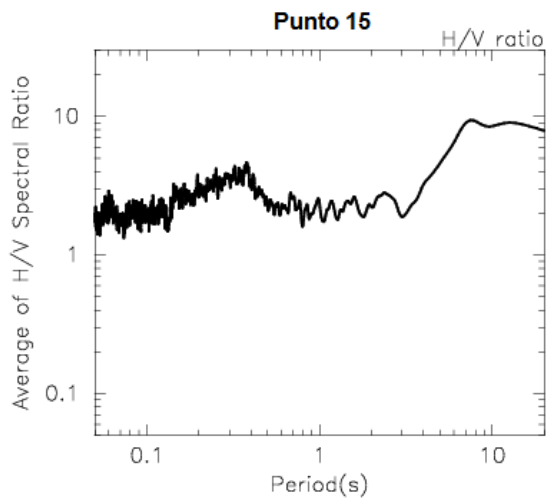
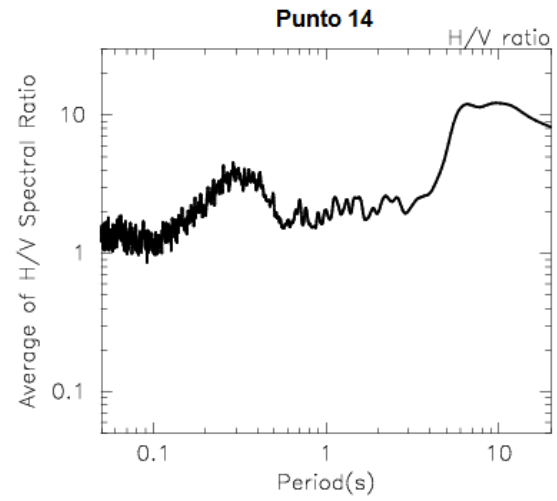
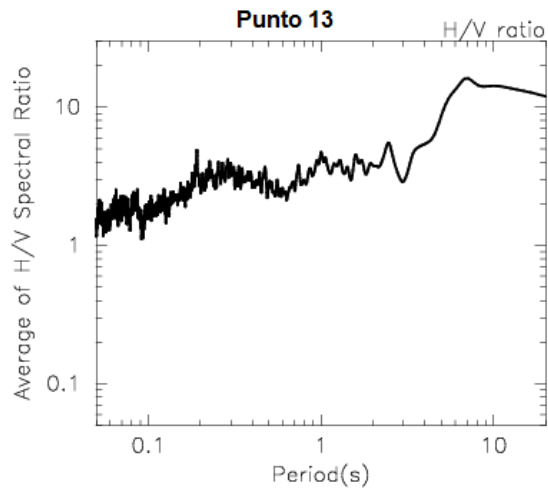
Zambrana, X., (2014). Estimation of shear wave velocity structure using Surface waves on the Aeropuerto Fault, Managua, Nicaragua. Master Paper of Seismology DMP Program, BRI & GRIPS.

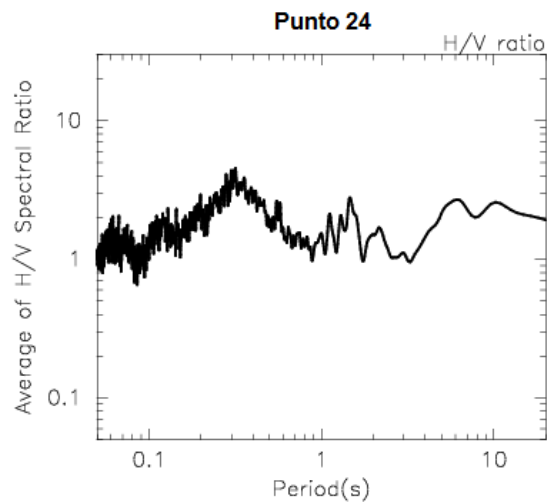
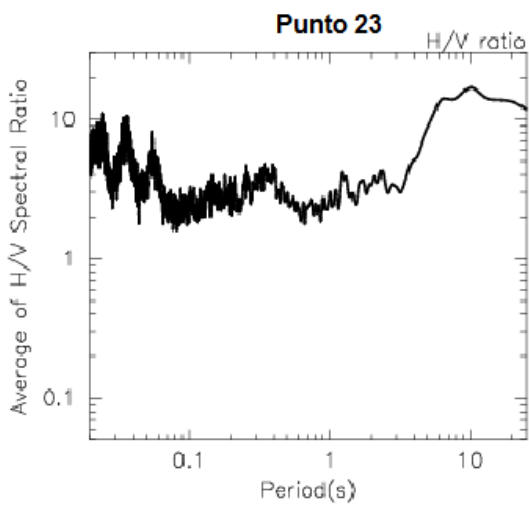
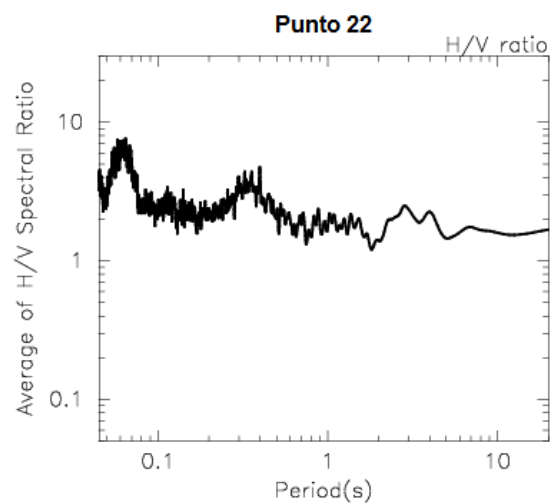
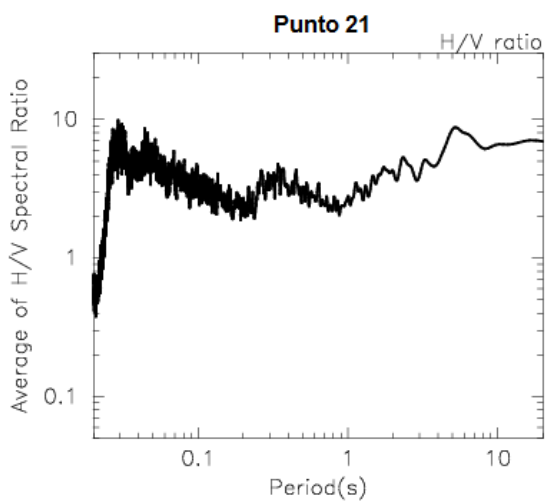
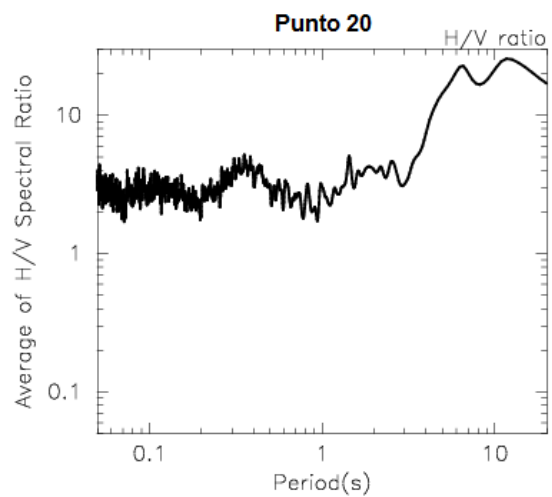
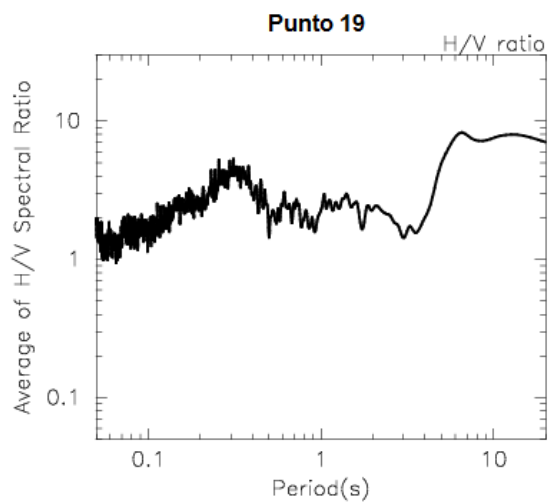
ANEXOS

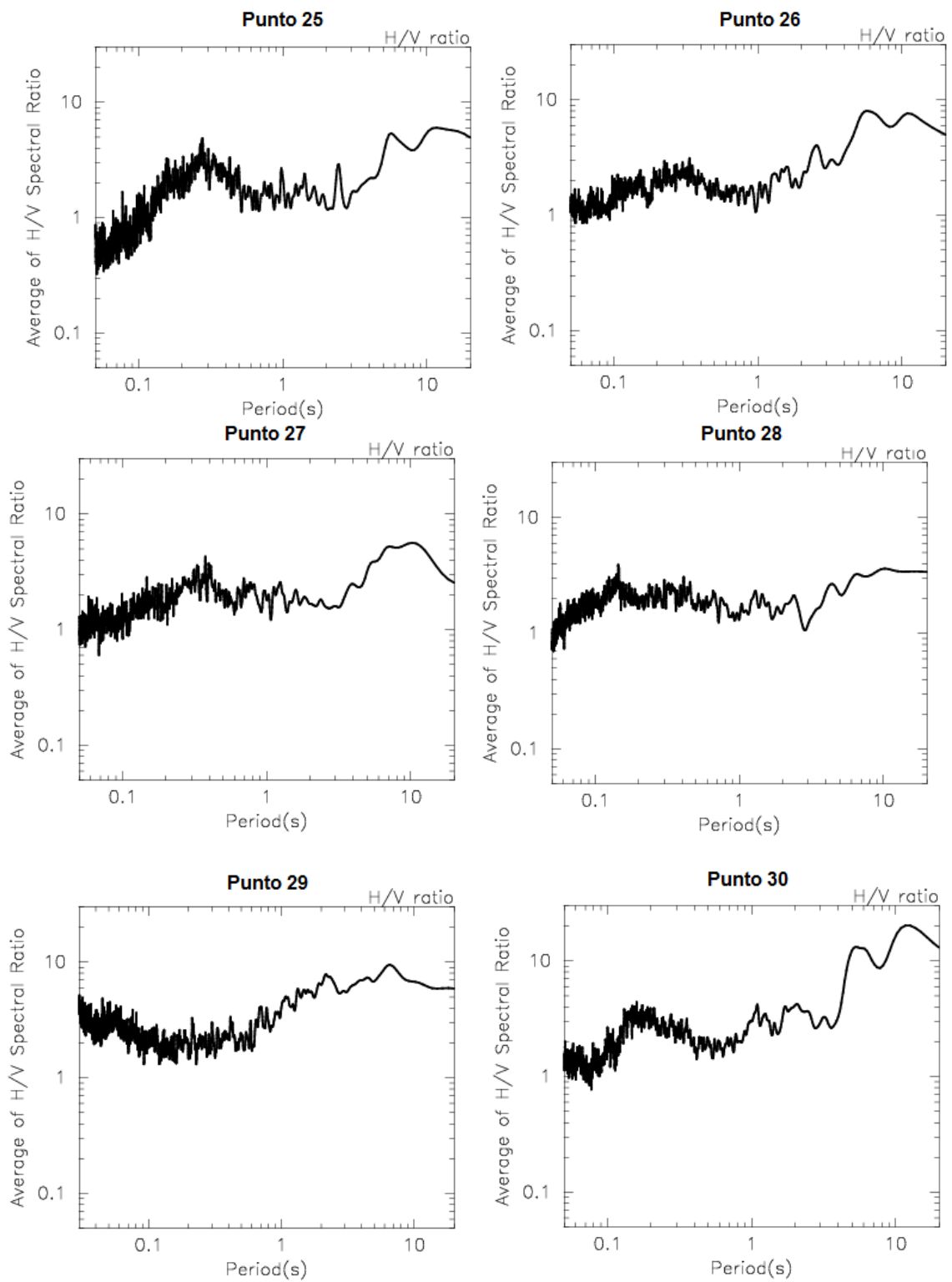
ANEXO 1. CURVAS DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EMPÍRICA H/V

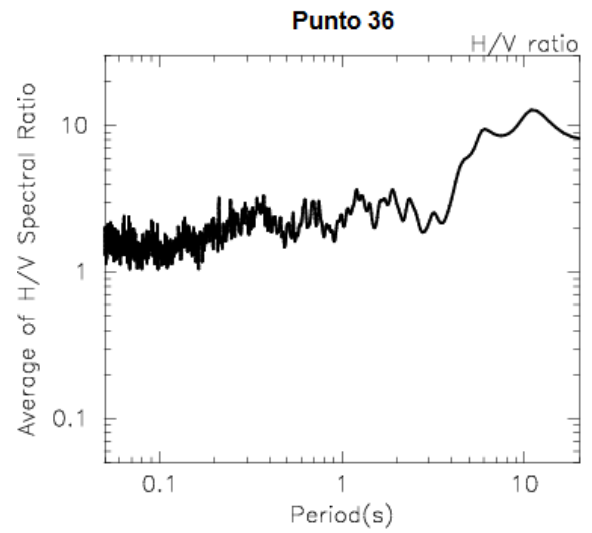
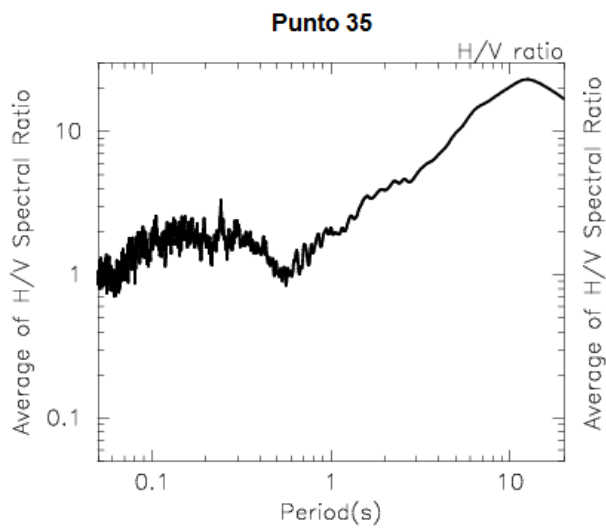
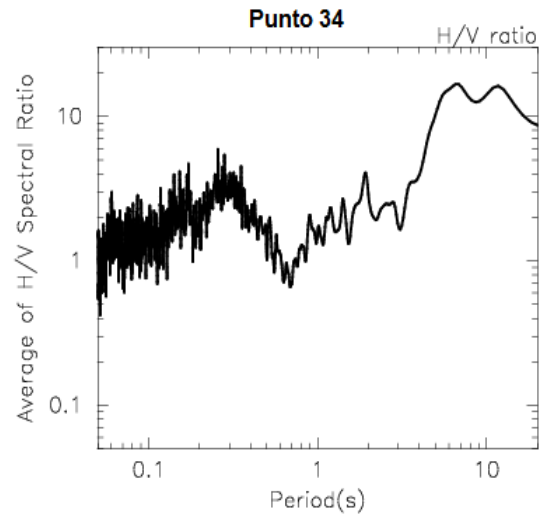
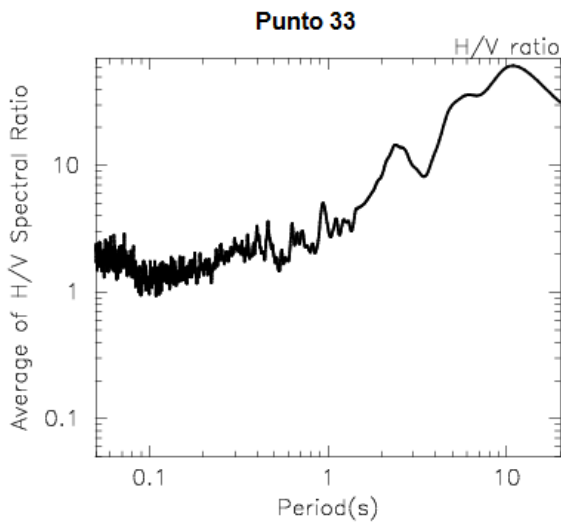
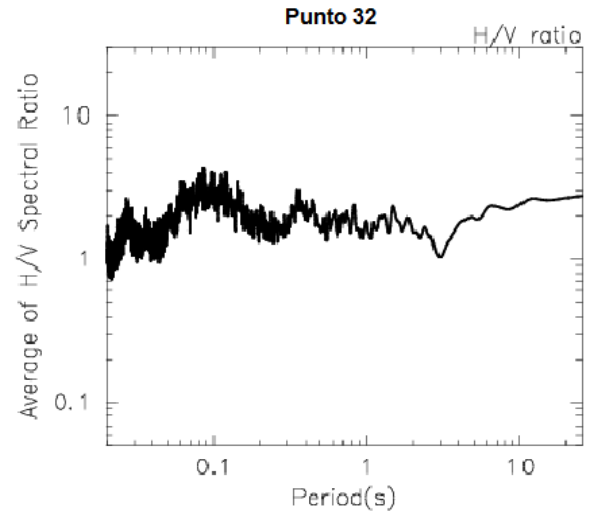
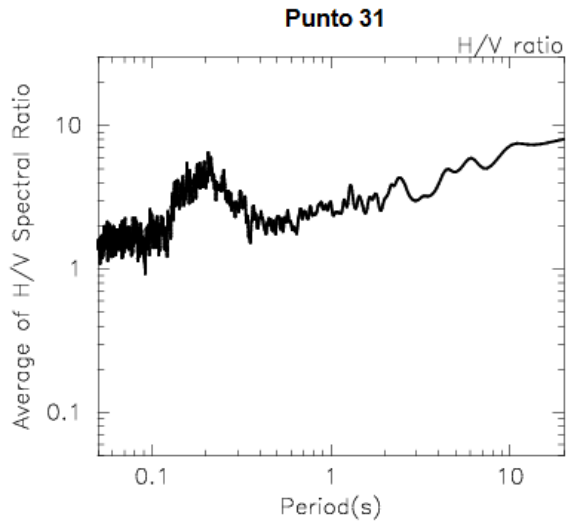


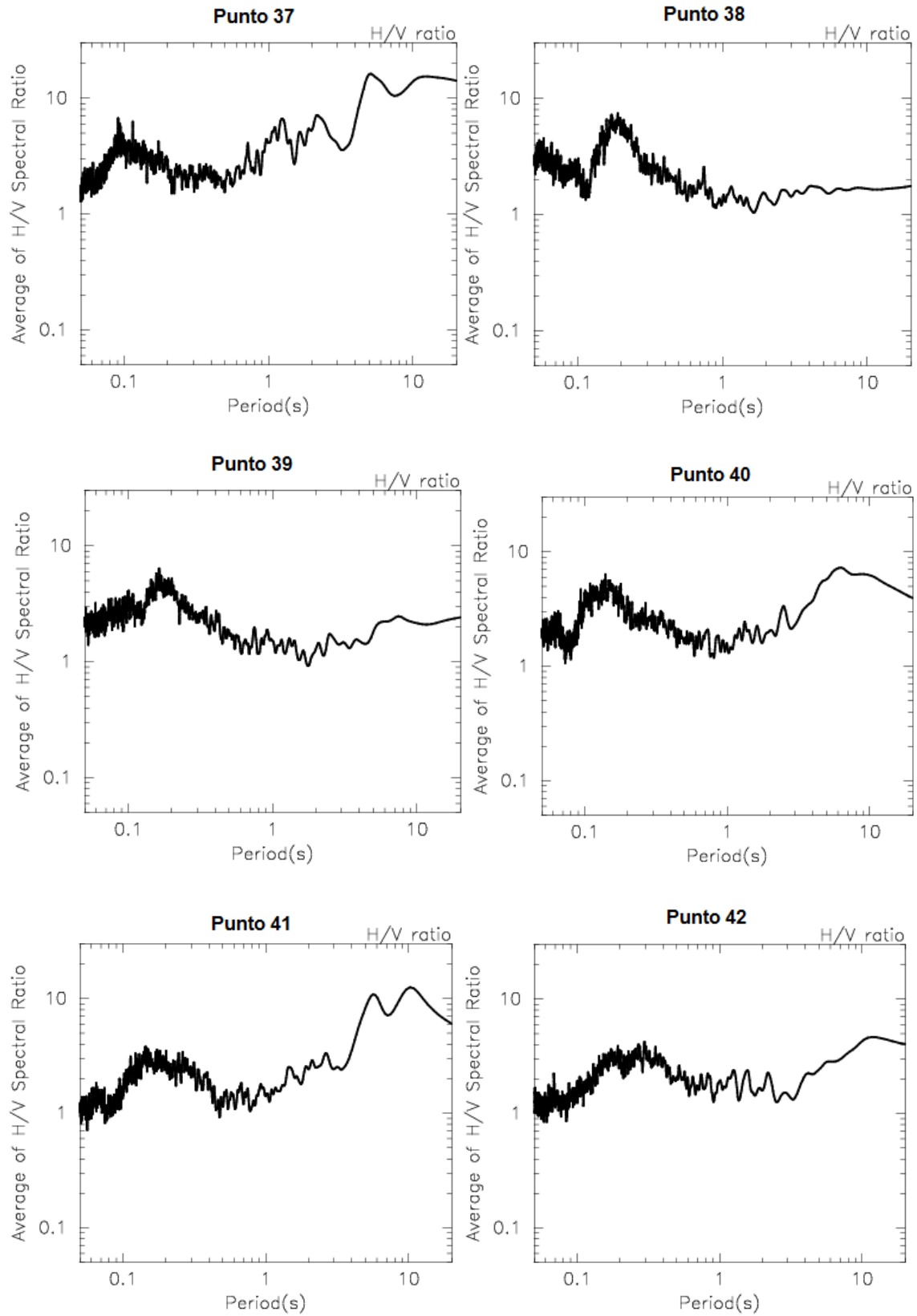


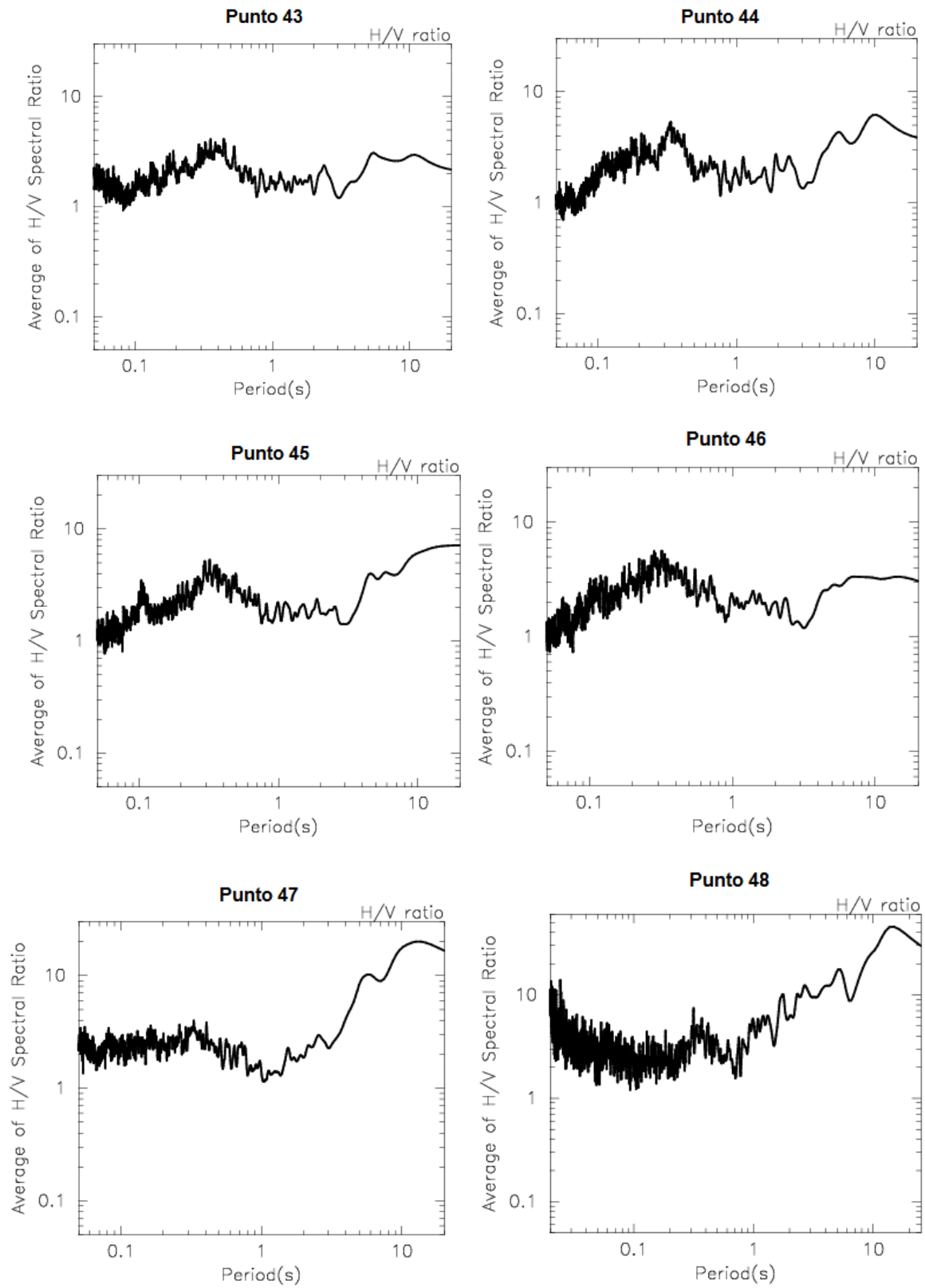


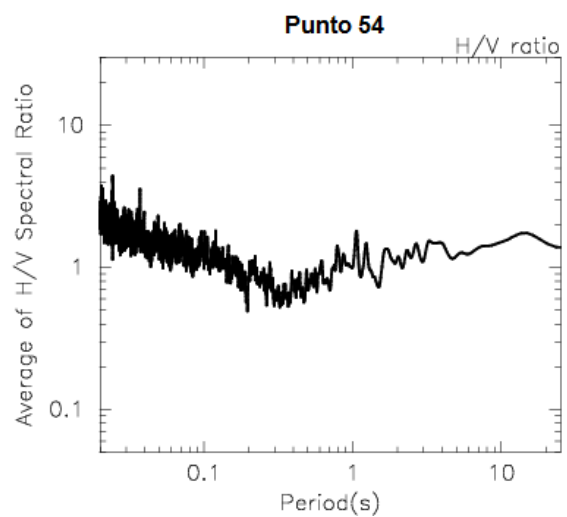
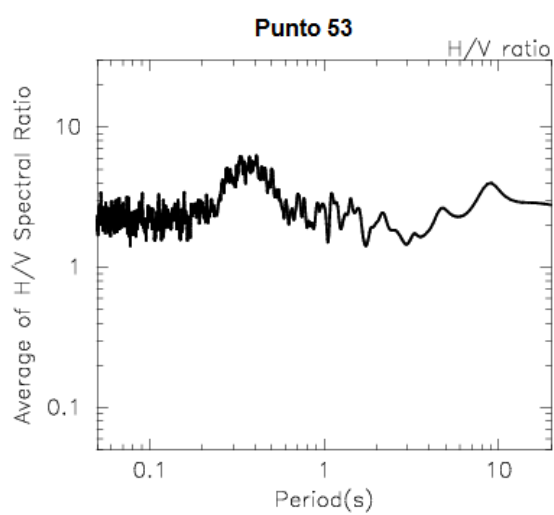
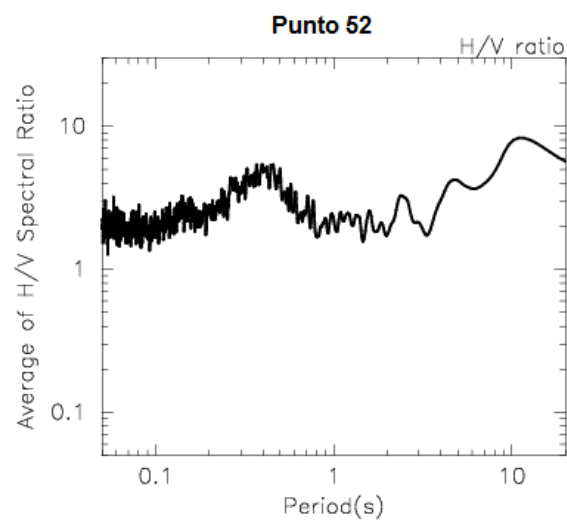
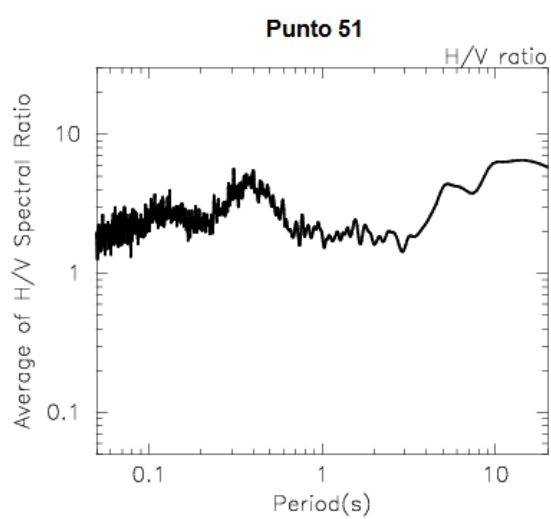
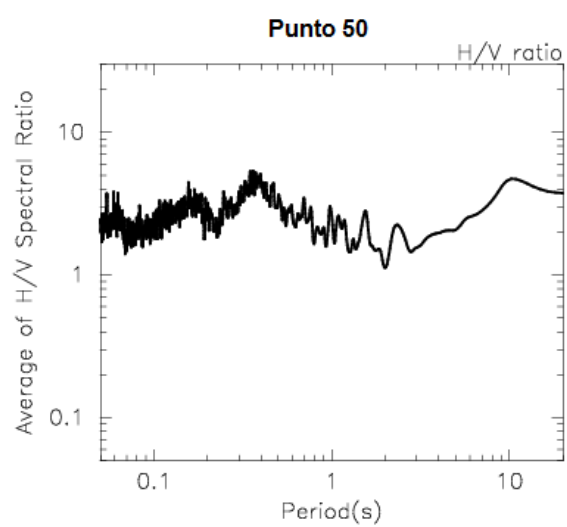
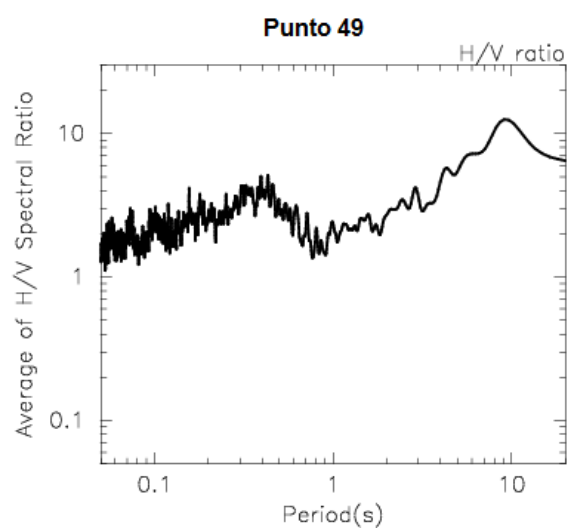


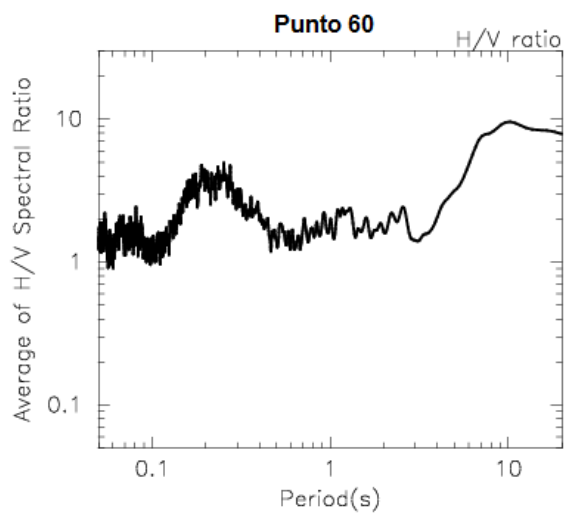
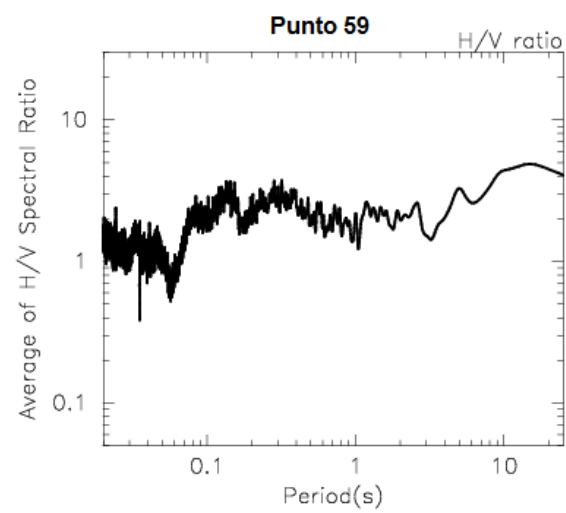
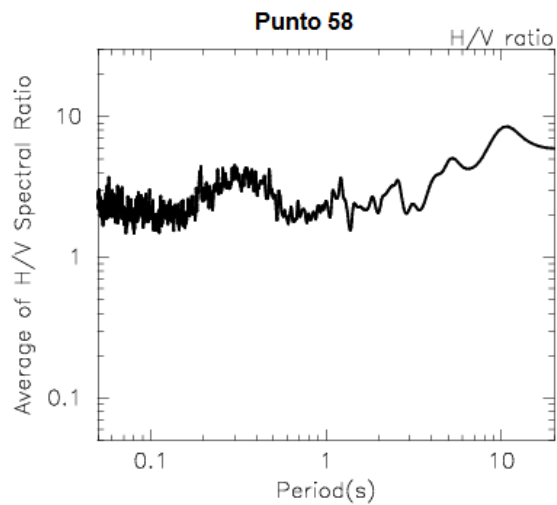
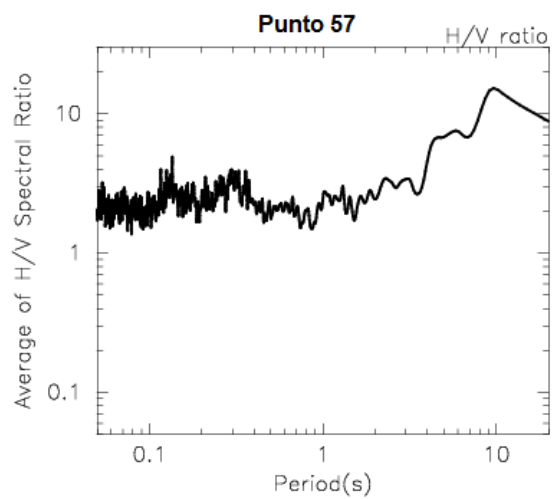
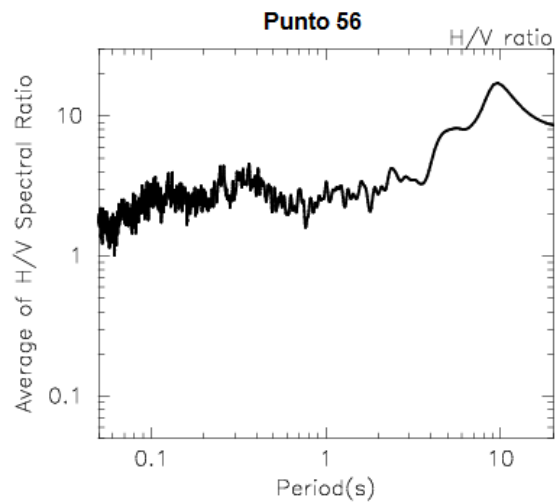
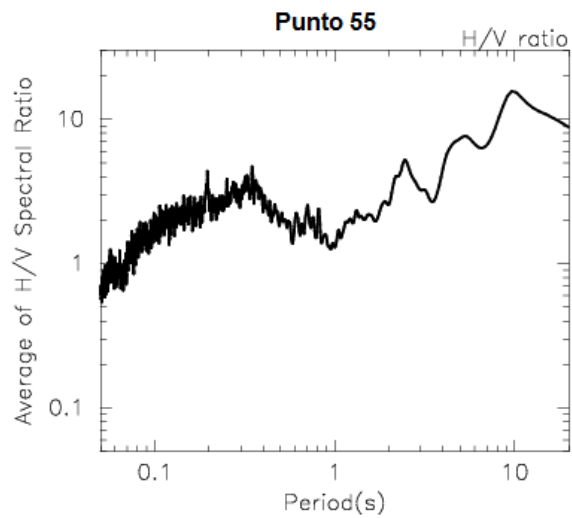


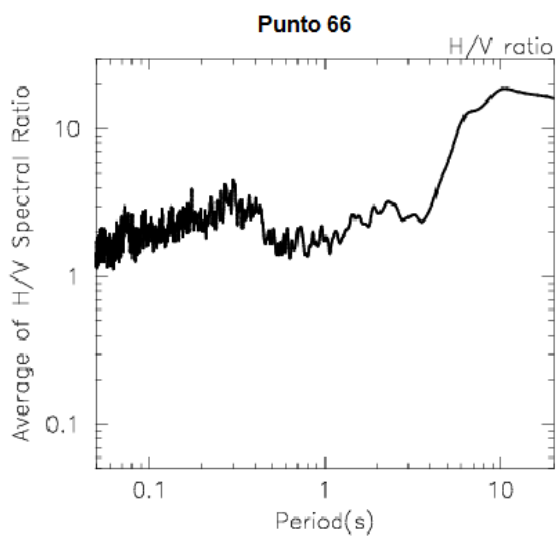
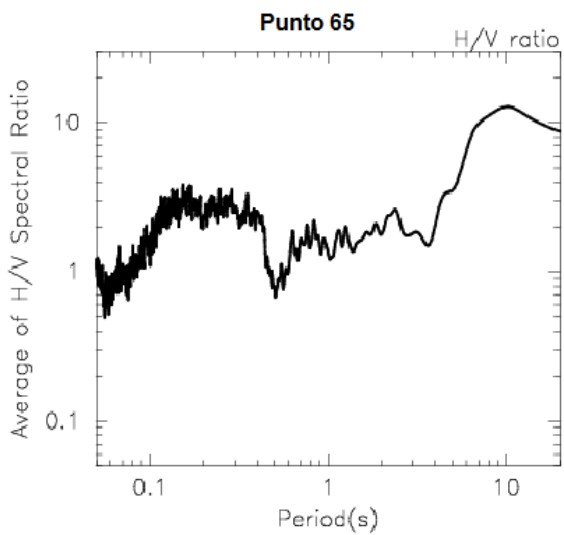
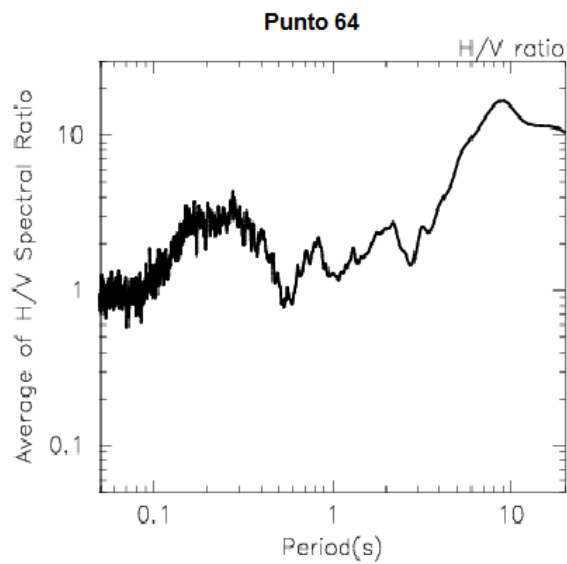
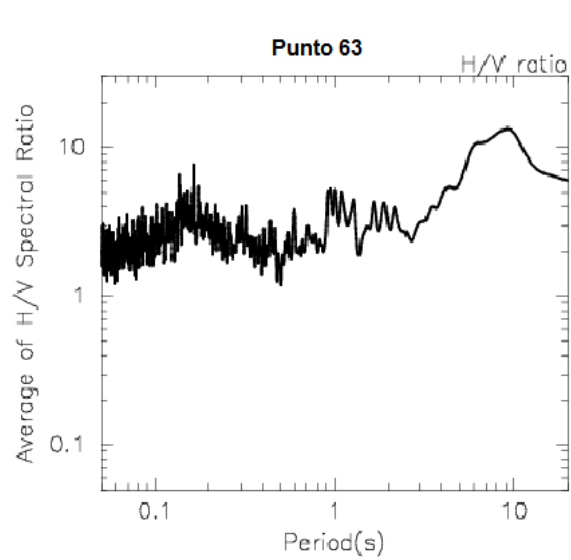
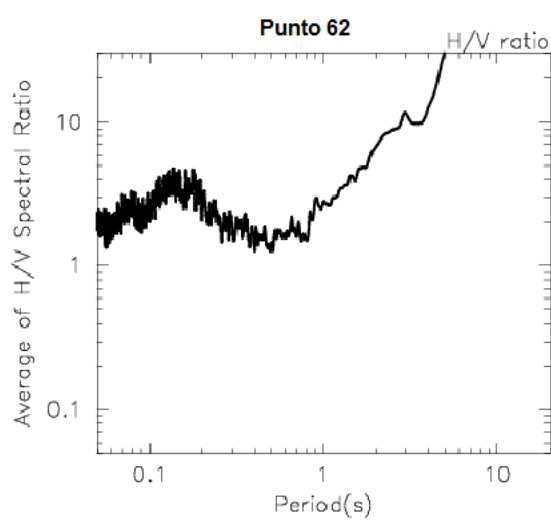
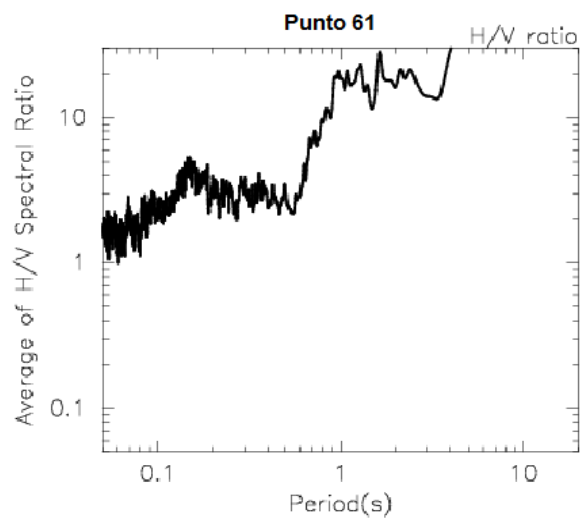


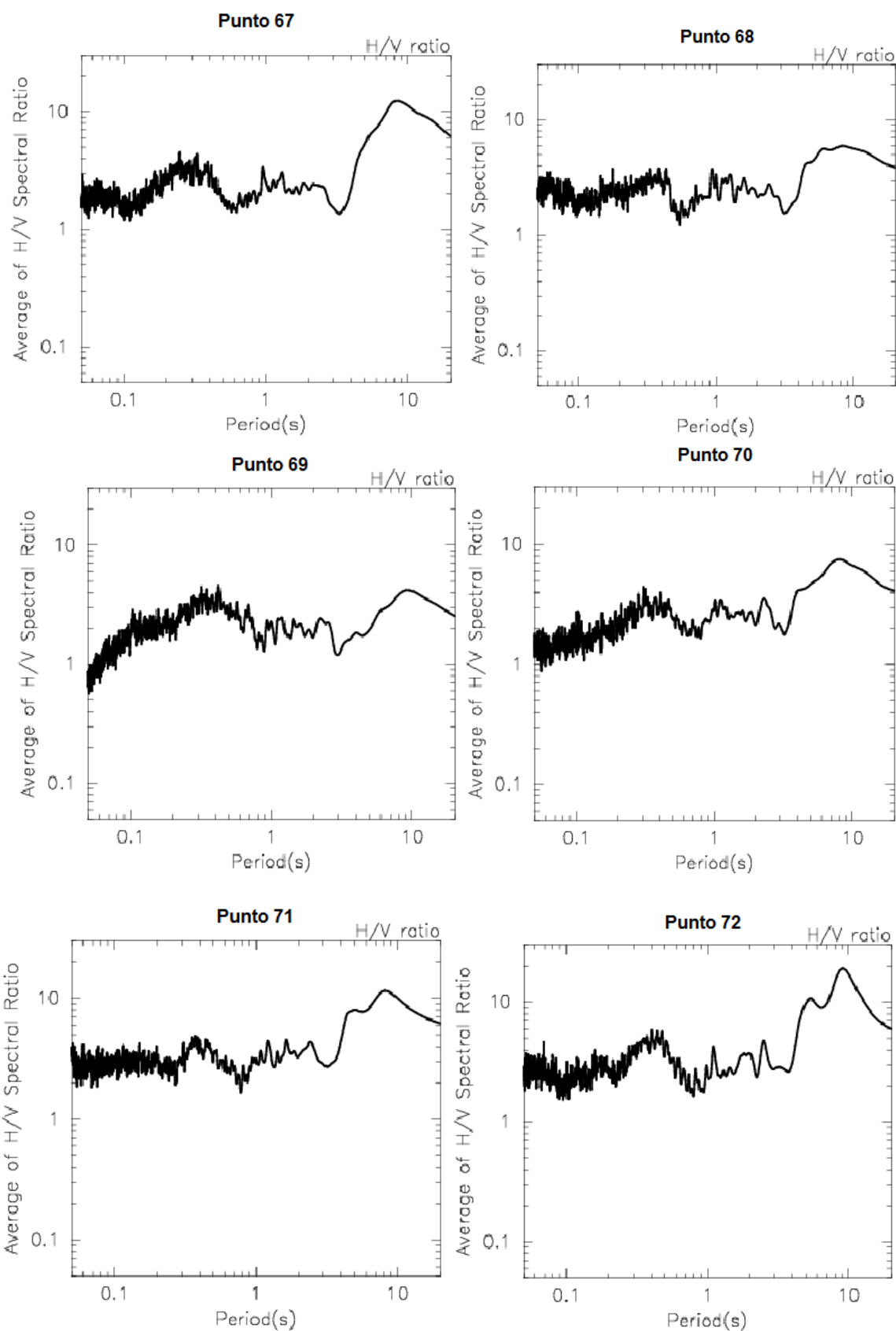


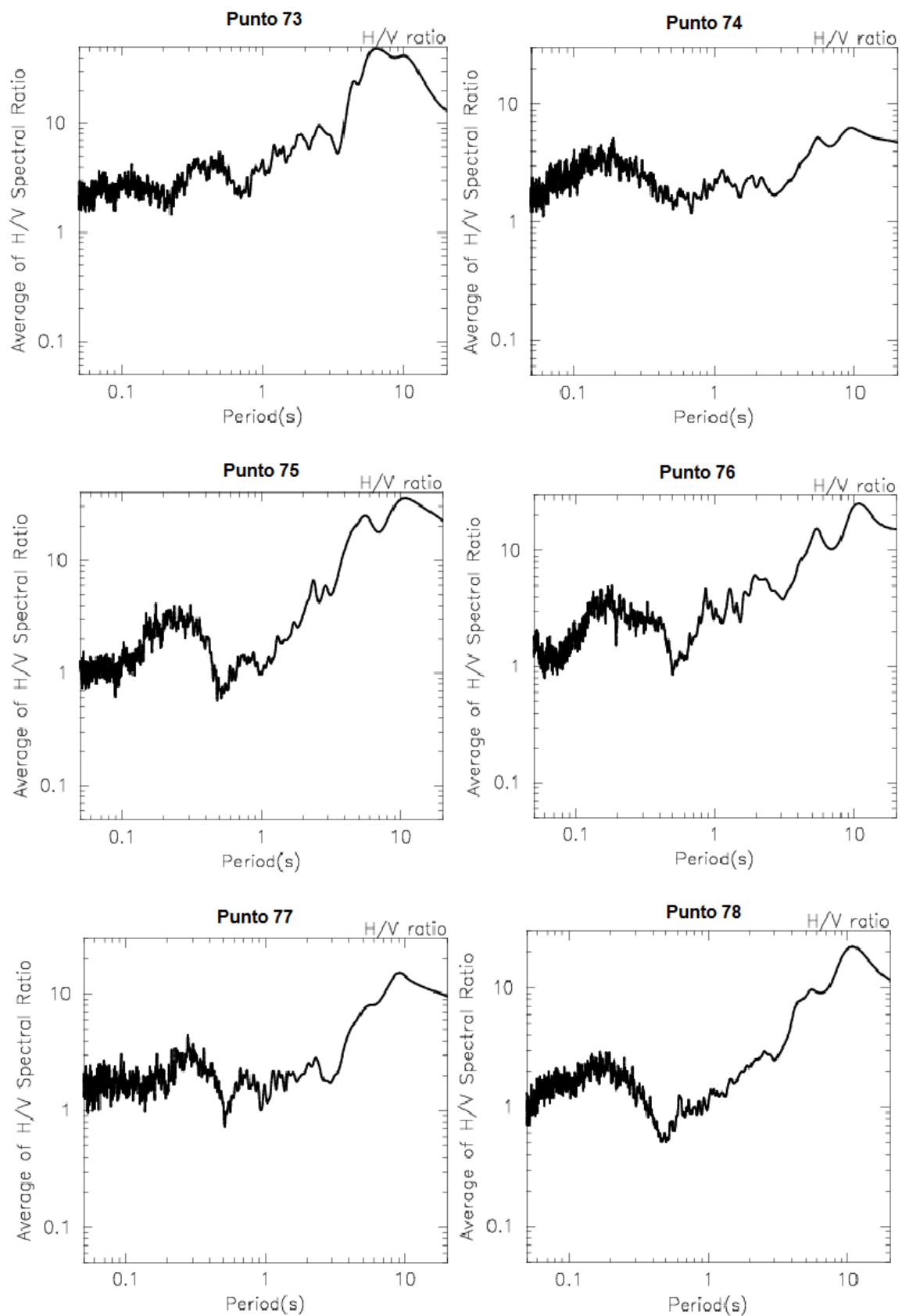


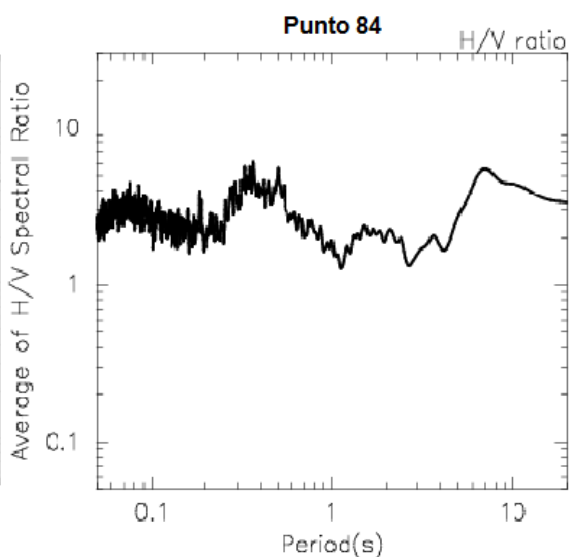
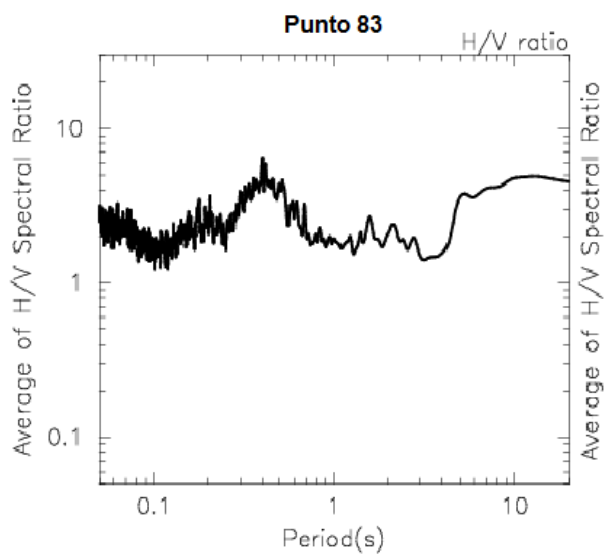
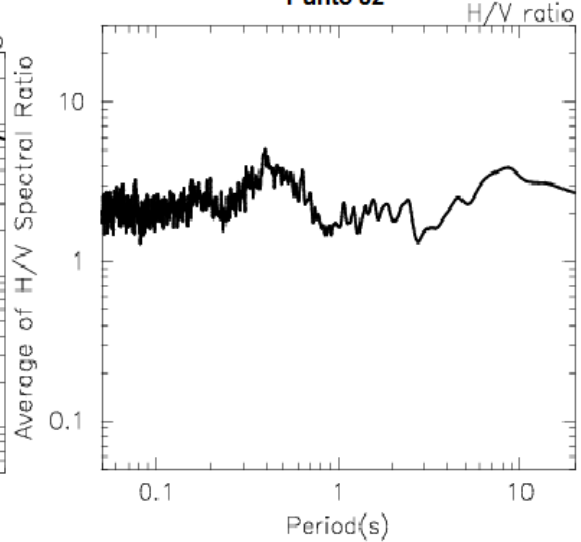
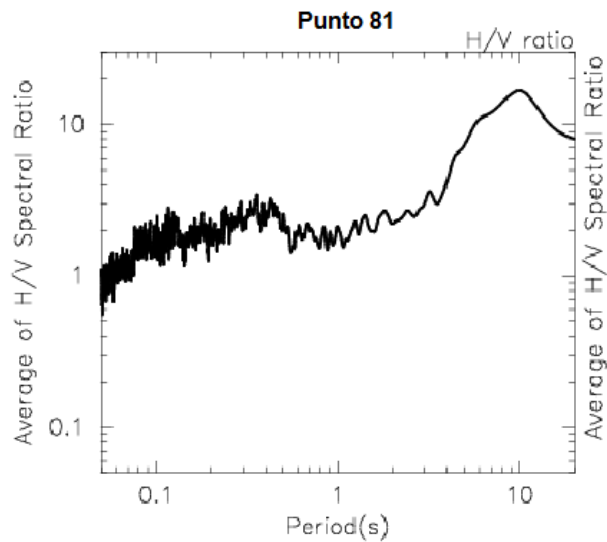
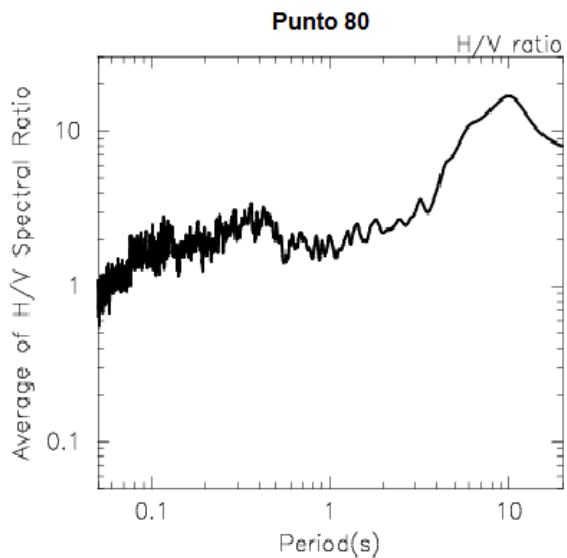
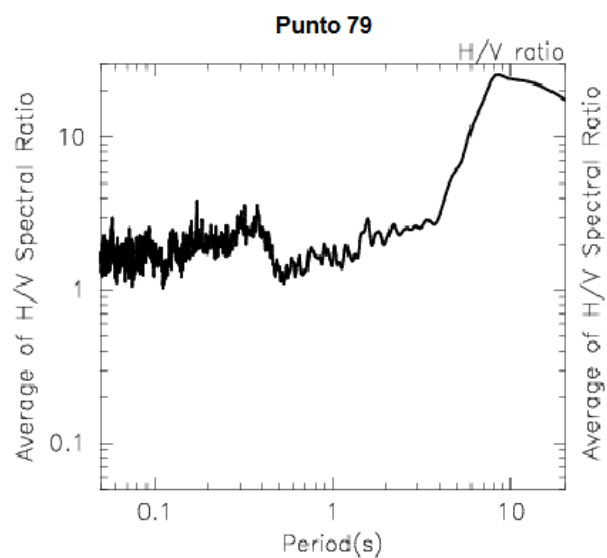


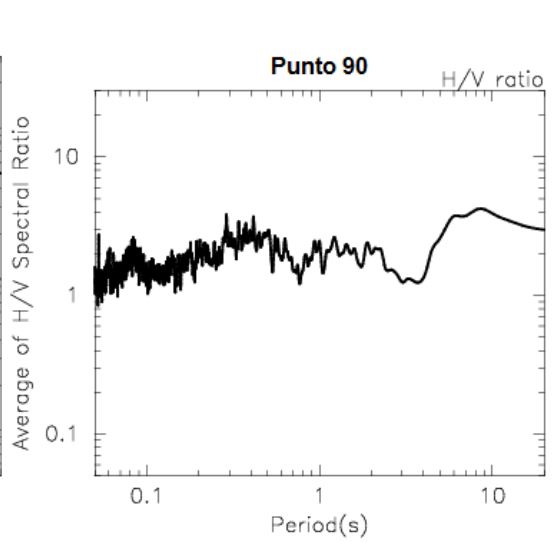
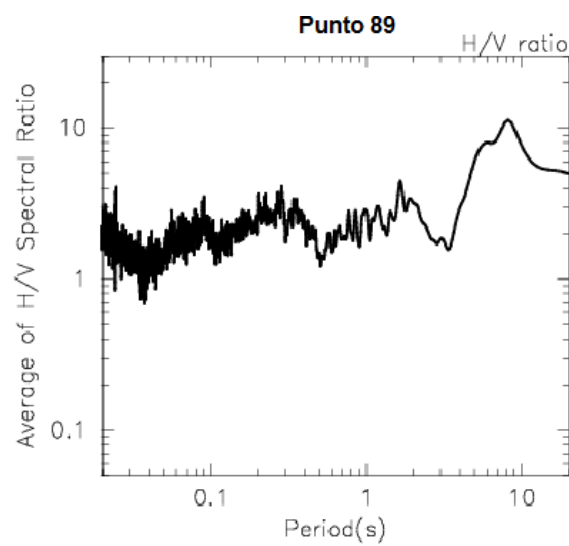
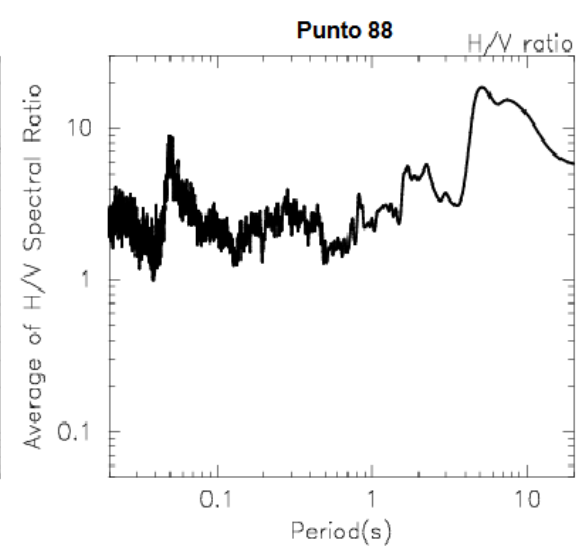
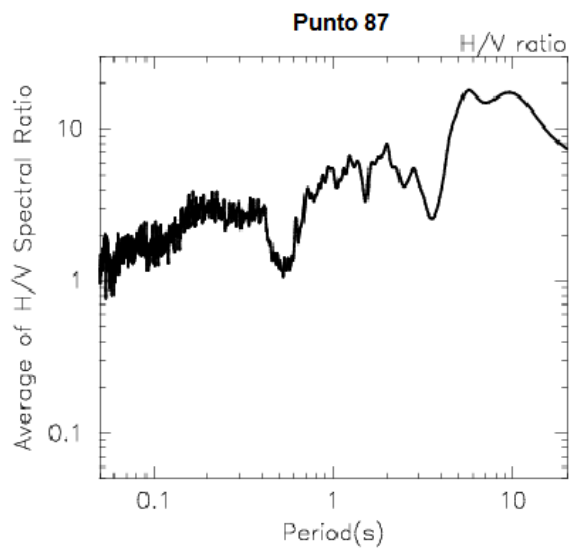
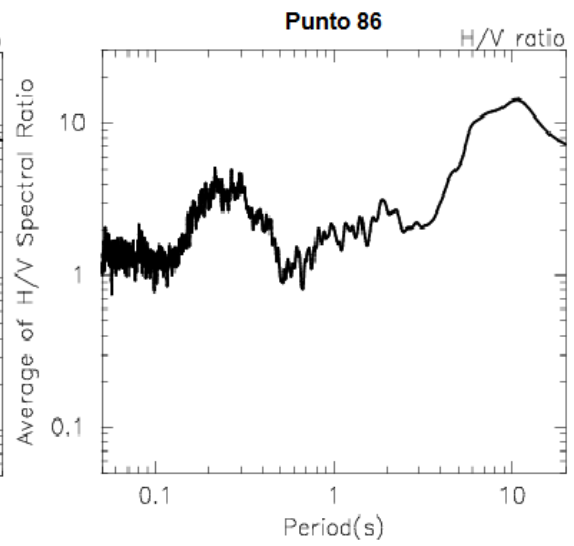
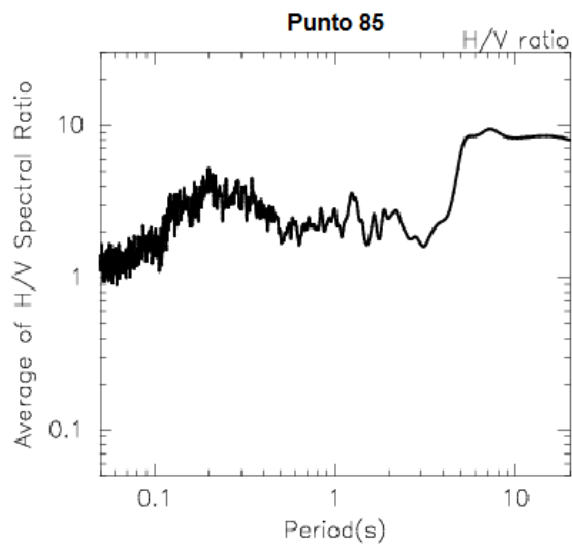


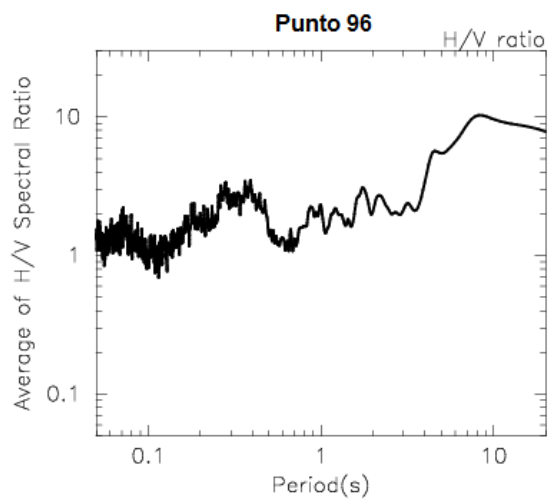
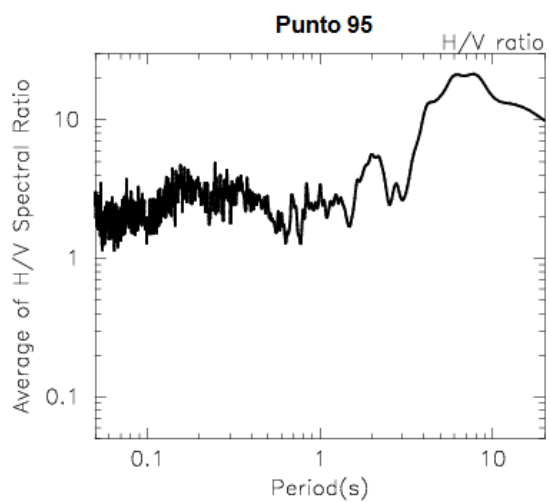
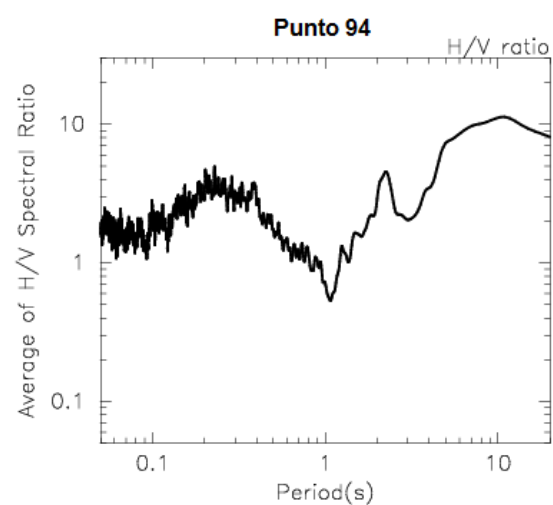
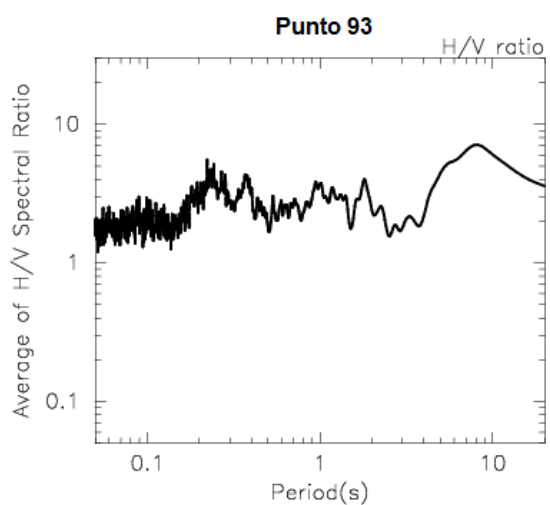
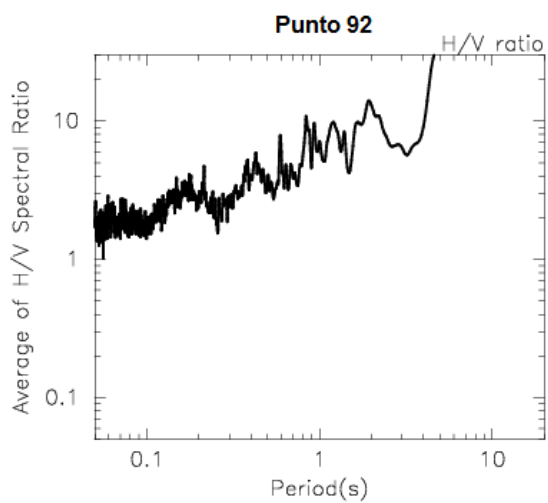
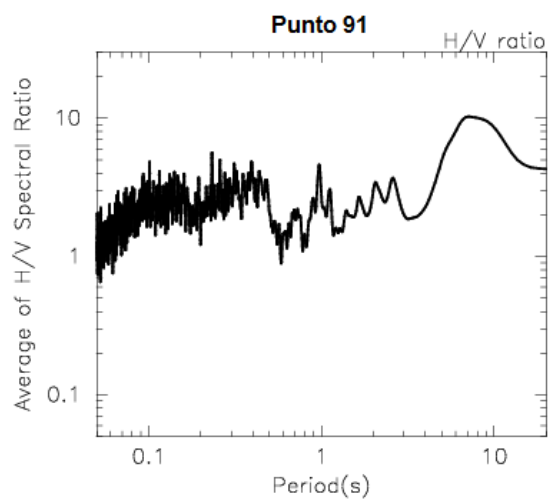


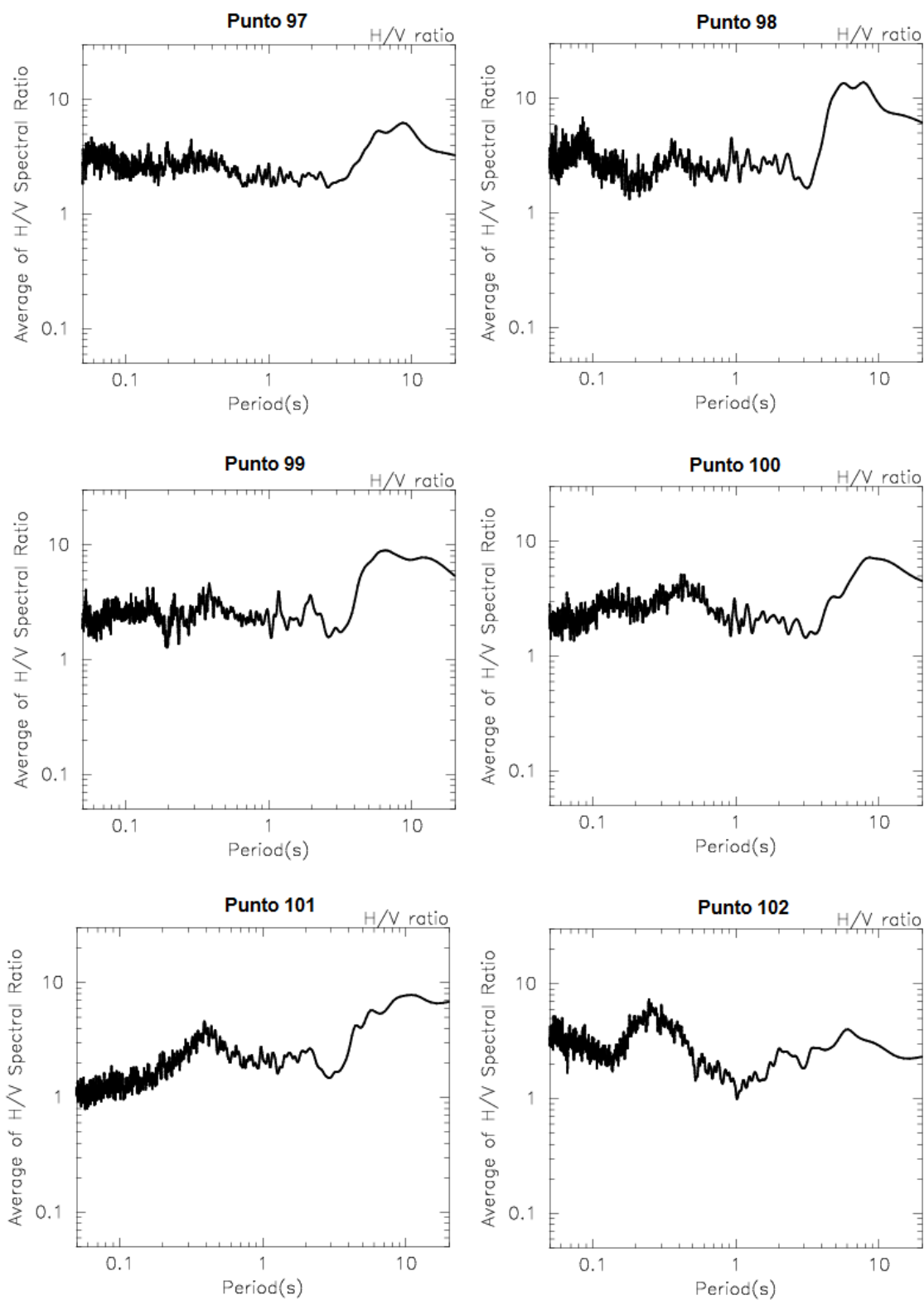


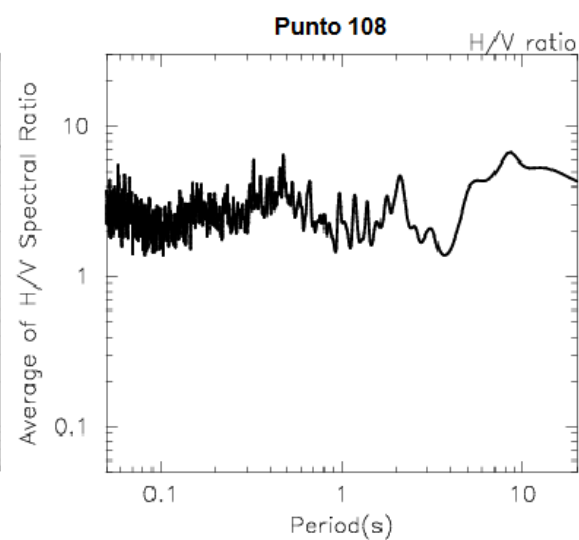
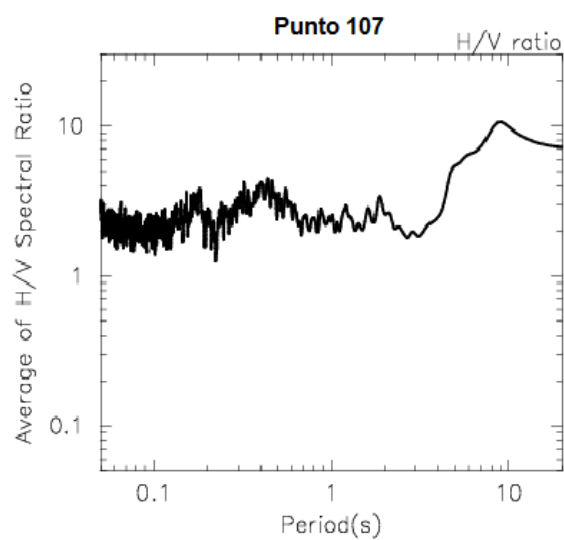
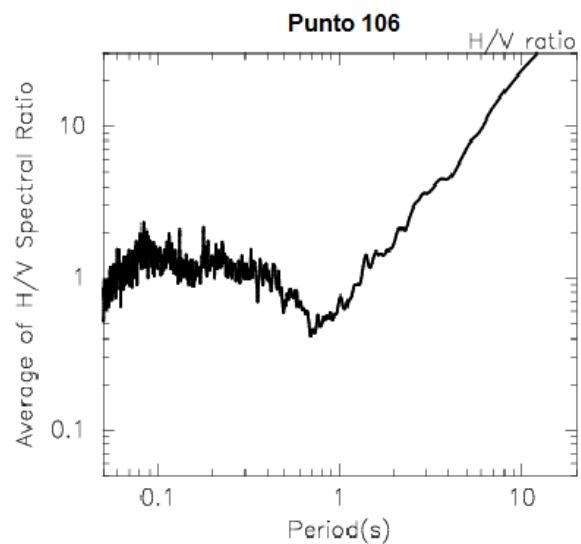
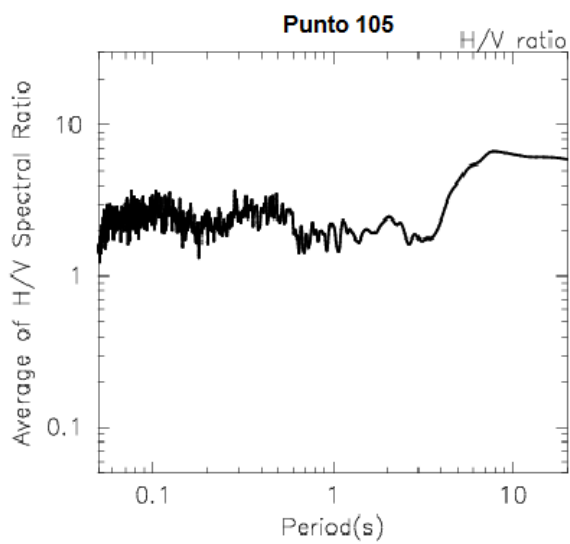
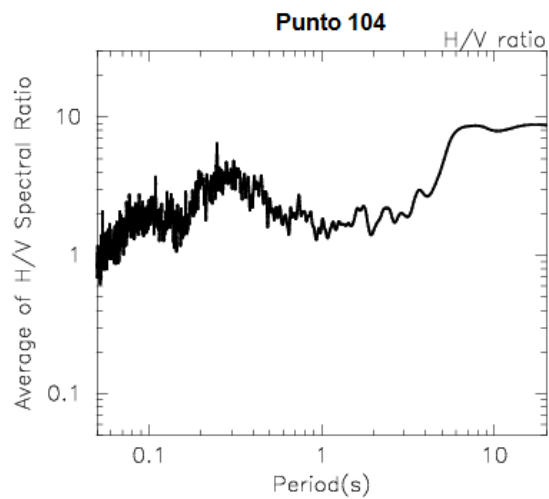
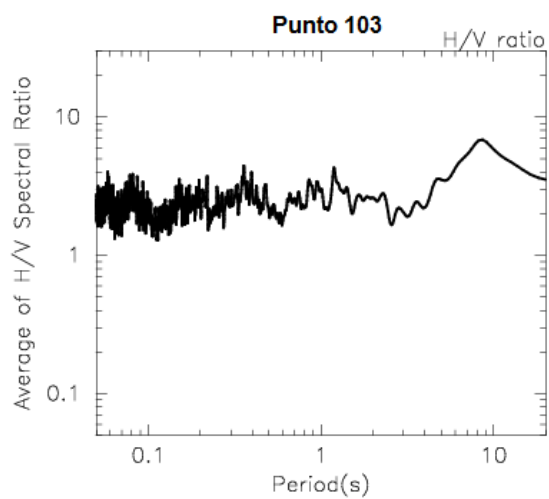


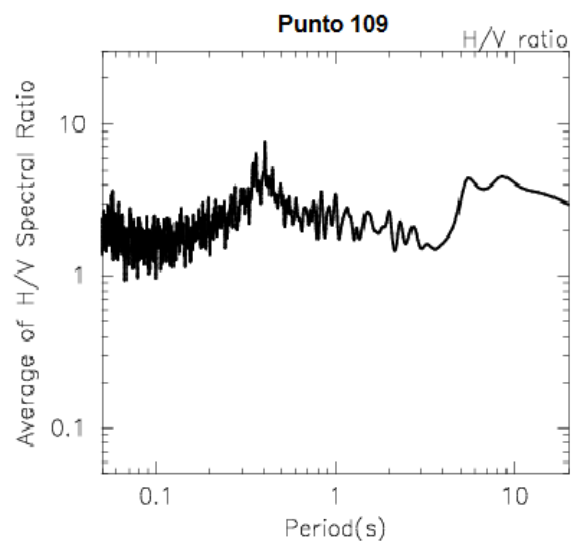








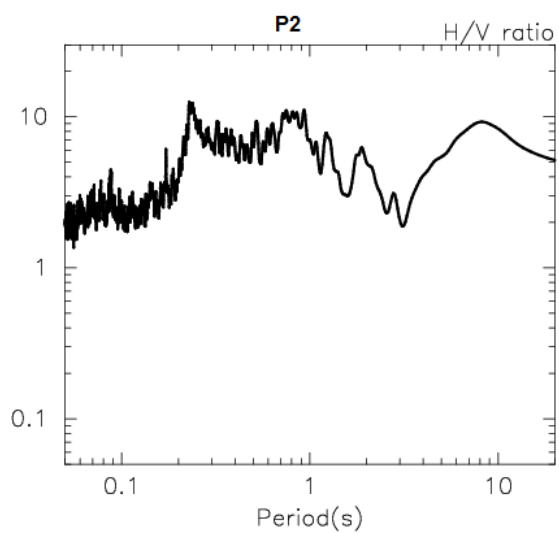
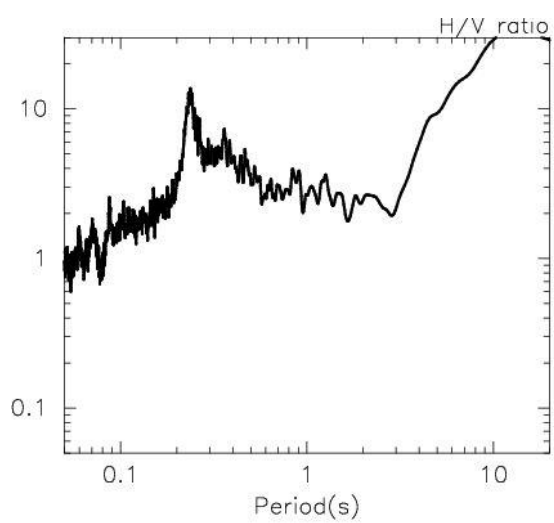


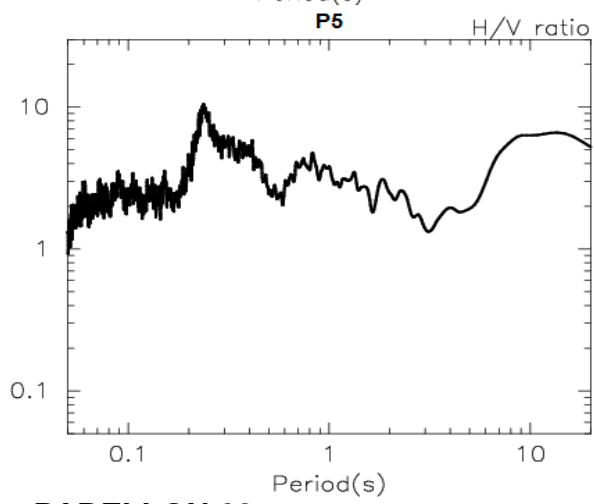
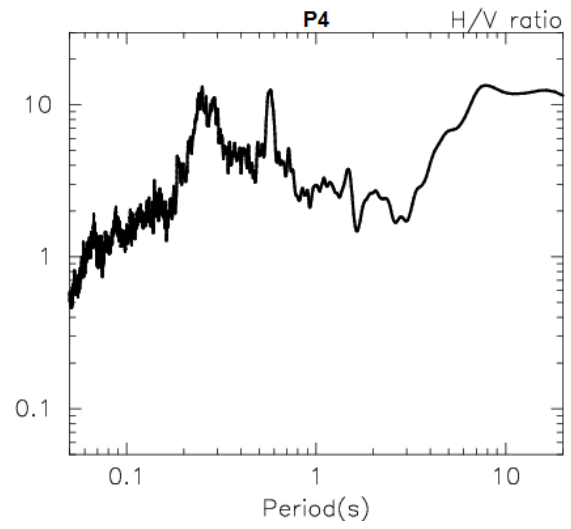
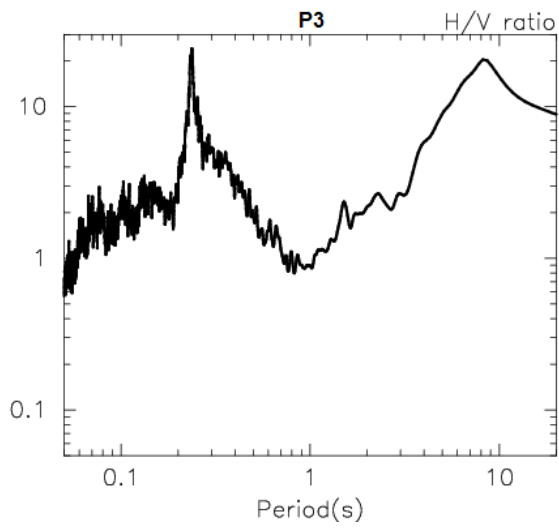


ANEXO 2

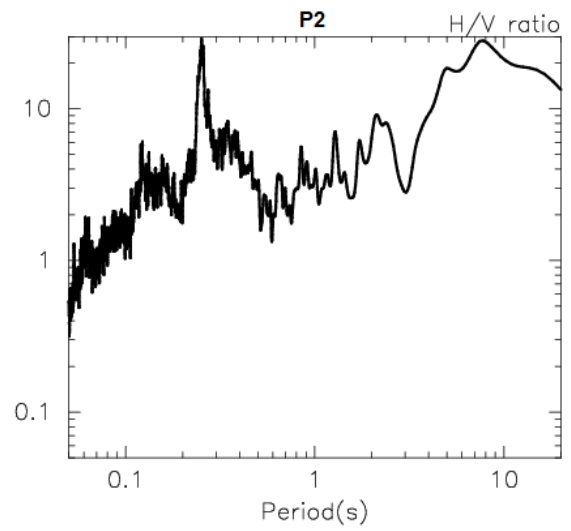
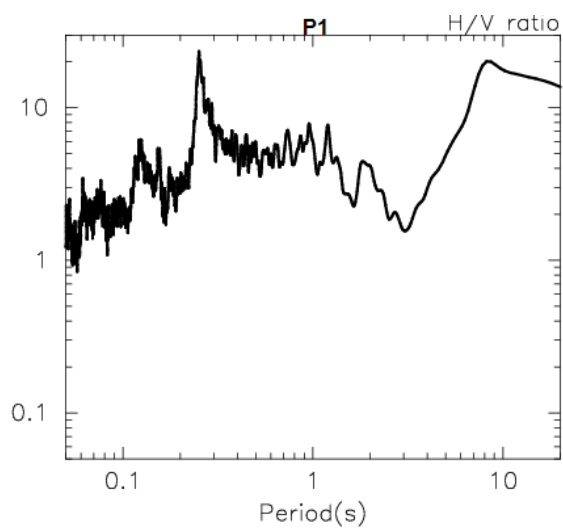
CURVAS DE FUNCION DE TRANSFERENCIA EMPIRICA (ESTRUCTURAS)

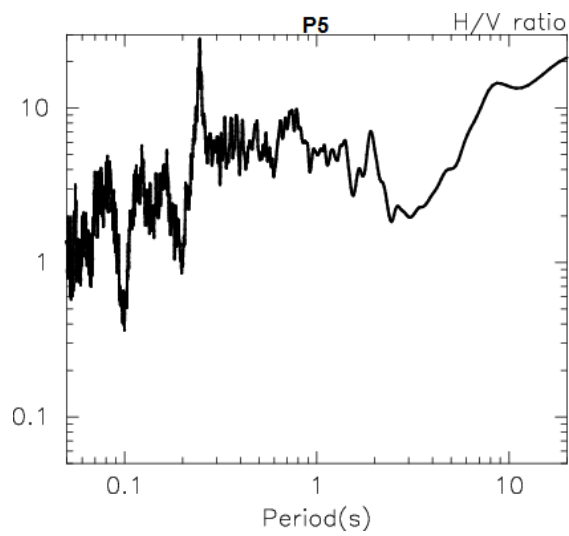
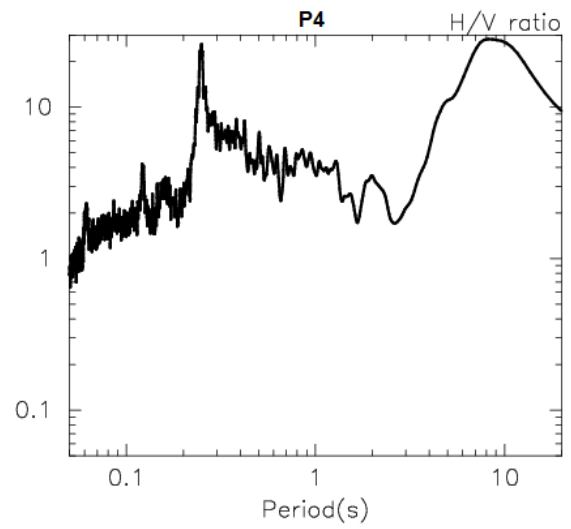
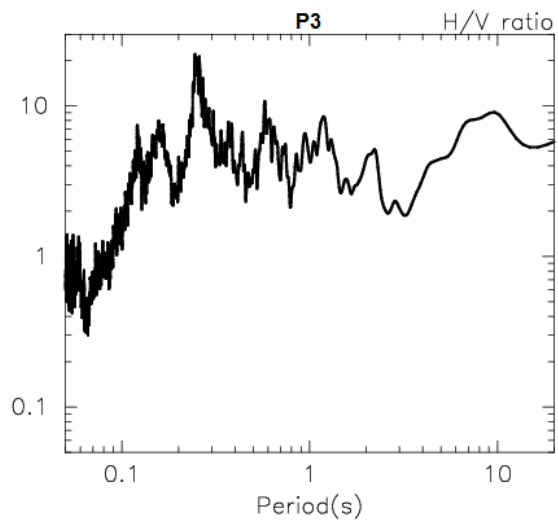
PABELLÓN 56



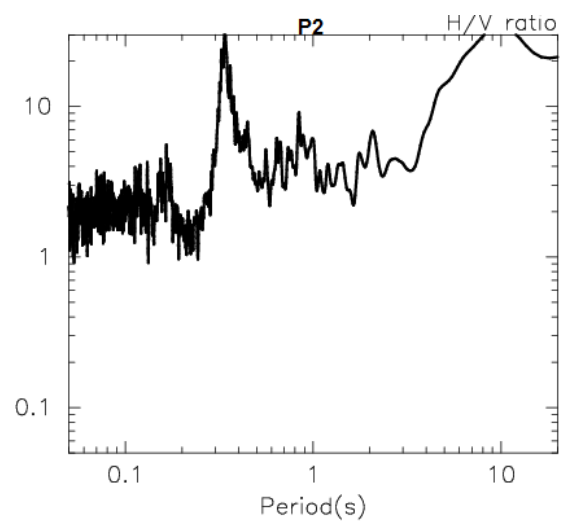
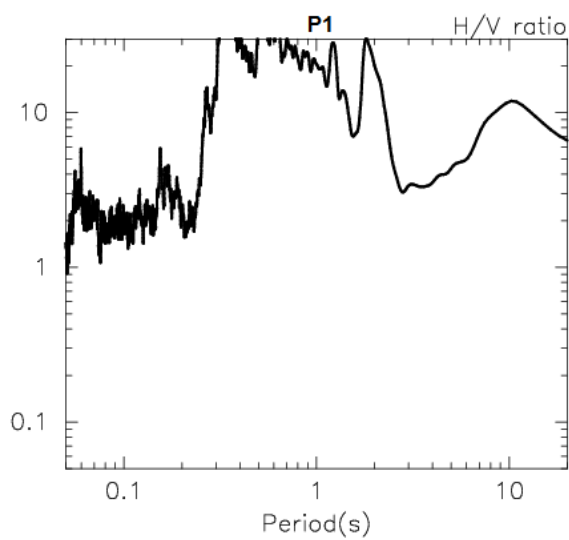


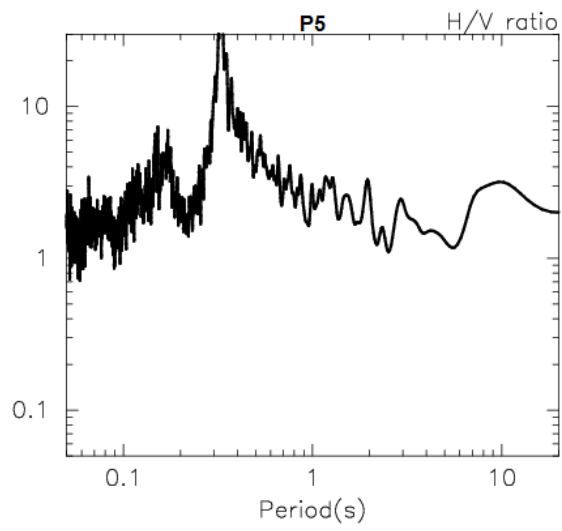
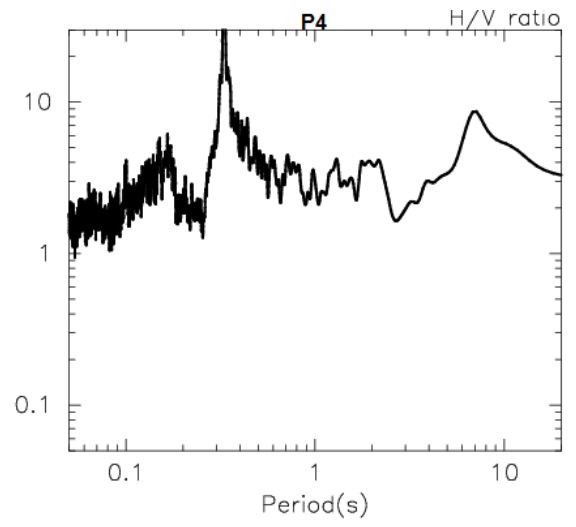
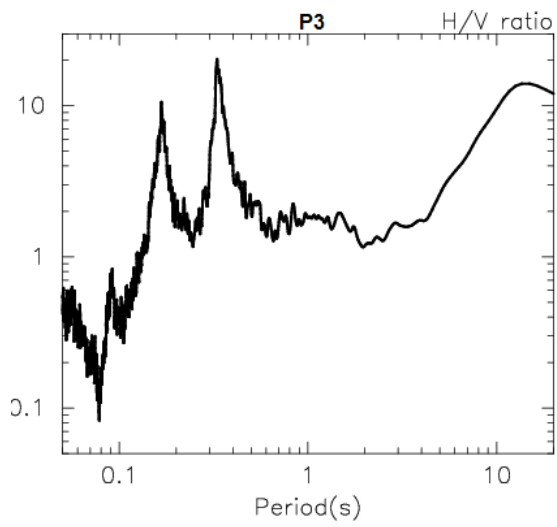
PABELLON 62





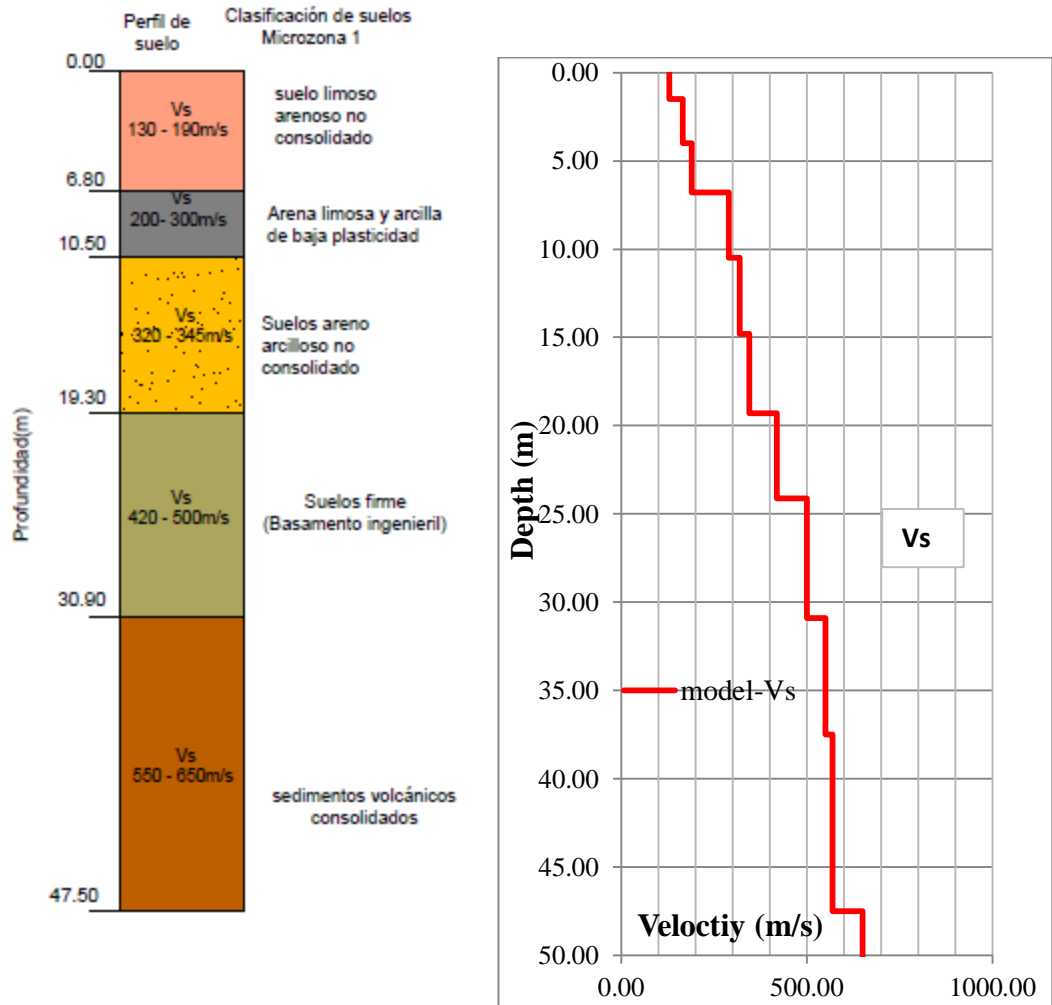
PABELLON 68





ANEXO 3. INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE SUELO APARTIR DE LOS MODELOS DE VELOCIDADES (Vs).

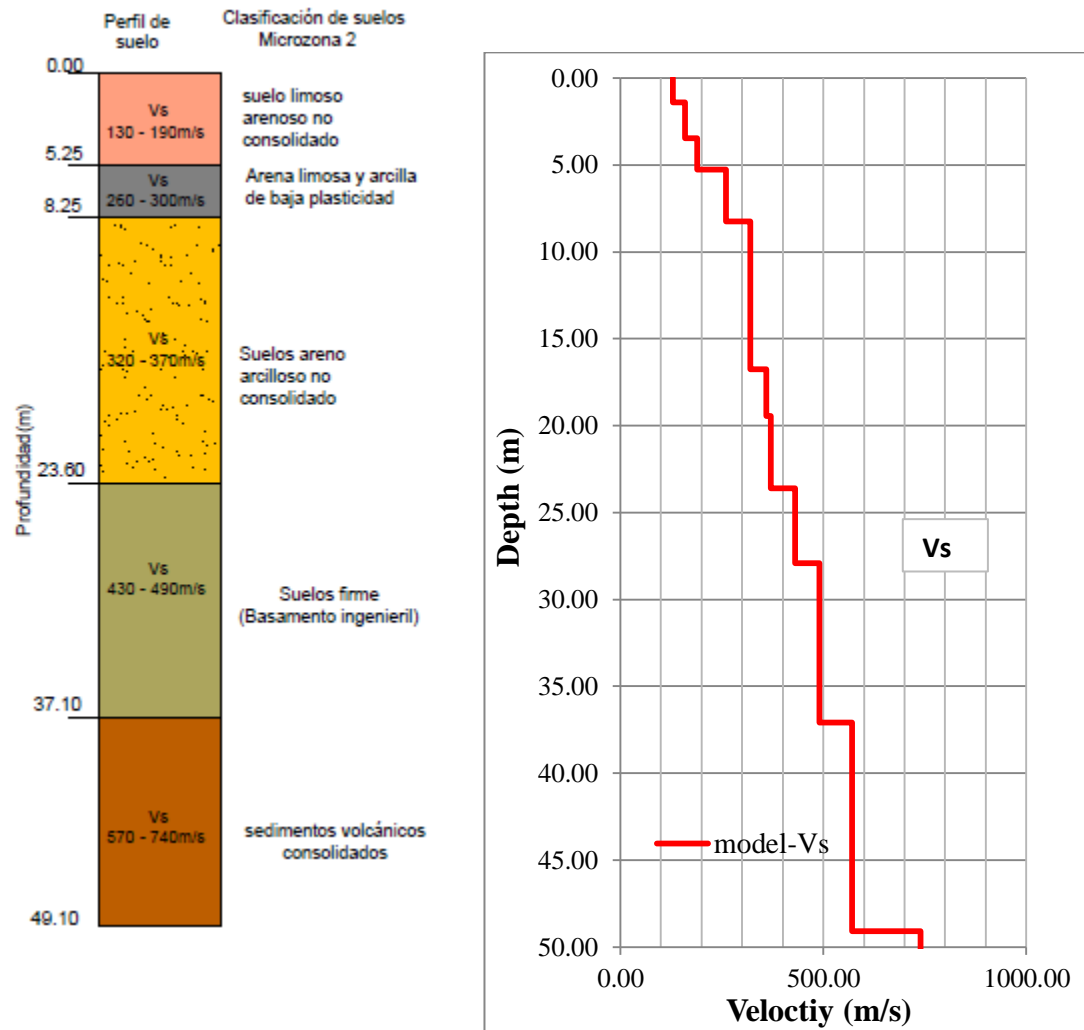
▪ Perfil de suelo Microzona 1



Velocidades de propagación de la onda de corte.

Profundidad (m)	Espesor (m)	Velocidad de onda de corte Vs (m/s)	Interpretación
0.00 – 6.80	6.80	130 - 190	Suelo limo arenoso no consolidado
6.80 - 10.50	3.70	200 - 300	Suelo arena limosa de baja plasticidad
10.50 – 19.30	8.80	320 - 345	Suelo areno limoso
19.30 - 30.90	11.60	420 - 500	Suelo firme (basamento ingenieril)
30.90 – 47.50	16.60	550 - 650	Suelo volcánico consolidado

▪ Perfil de suelo Microzona 2



Velocidad de propagación de la onda de corte

Profundidad (m)	Espesor (m)	Velocidad de la onda de corte V_s (m/s)	Interpretación
0.00 – 5.25	5.25	130 - 190	Suelo limo arenoso no consolidado
5.25 – 8.25	3.00	260 - 300	Suelo arena limosa de baja plasticidad
8.25 – 23.60	15.35	320 - 370	Suelo areno limoso
23.60 – 37.10	13.50	430 - 490	Suelo firme (basamento ingenieril)
37.10 – 49.10	12.00	570 - 740	Suelo volcánico consolidado

Anexo 4

Valores de F_0 , T_0 , A_0 , coordenadas y observaciones de microtemores en el RURD.

N_0	F_0 (Hz)	T_0 (s)	A_0 (veces)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
p1	2.0	0.5	5	579635	1338164	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.5$
p2	2.6	0.38	5	579640	1338198	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p3	2.6	0.38	5	579616	1338179	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p4	2.5	0.4	6	579597	1338192	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p5	2.6	0.38	5	579597	1338164	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p6	3.1	0.32	5	579586	1338139	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.32$
p7	2.6	0.38	5	579569	1338107	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p8	3.3	0.3	7	579549	1338143	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p9	4.2	0.24	6	579546	1338115	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.24$
p10	3.7	0.27	3.8	579525	1338128	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.27$
p11	3.4	0.29	5.5	579530	1338154	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.29$
p12	2.9	0.35	4.5	579498	1338159	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.35$
p13	5.0	0.2	5	579505	1338137	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.2$
p14	3.3	0.3	4.9	579552	1338180	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p15	2.6	0.39	4.9	579551	1338203	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.39$
p16	2.9	0.34	5	579523	1338222	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.34$
p17	2.5	0.4	5.9	579516	1338190	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$

p18	3.3	0.3	5.5	579476	1338192	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p19	3.3	0.3	5.5	579466	1338226	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p20	2.6	0.39	5.5	579431	1338212	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.39$
p21	2.6	0.38	5	579431	1338190	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p22	3.1	0.32	4	579399	1338181	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.32$
p23	2.5	0.4	5	579395	1338209	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p24	3.10	0.32	4.9	579351	1338223	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.34$
p25	3.6	0.28	5	579310	1338212	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.28$
p26	3.0	0.33	3.1	579307	1338187	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.33$
p27	2.5	0.4	4.5	579278	1338191	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p28	6.7	0.15	4	579243	1338186	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.15$
p29	2.5	0.4	3.2	579354	1338182	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p30	5.9	0.17	4.5	579214	1338182	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.17$
p31	4.8	0.21	6.9	579180	1338216	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.21$
p32	10	0.1	3	579223	1338232	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.1$
p33	2.1	0.48	3.9	579259	1338248	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.48$
p34	3.3	0.3	6	579311	1338234	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p35	3.8	0.26	3.5	579315	1338260	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.26$
p36	2.6	0.38	3.7	579251	1338267	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p37	10	0.1	6	579219	1338268	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.1$
p38	5.0	0.2	7.9	579183	1338256	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.2$
p39	5.9	0.17	6.4	579187	1338294	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.17$

p40	6.7	0.15	6.4	579222	1338306	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.15$
p41	6.7	0.15	3.9	579255	1338300	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.15$
p42	3.4	0.29	4	579308	1338290	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.29$
p43	2.5	0.4	4	579360	1338284	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p44	3.1	0.32	5.5	579420	1338278	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.32$
p45	3.1	0.32	5.8	579490	1338272	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.32$
p46	2.9	0.34	6	579528	1338270	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.34$
p47	3.0	0.33	4	579558	1338265	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.33$
p48	2.8	0.36	5.3	579558	1338265	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.36$
p49	2.3	0.44	5.1	579357	1338255	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.44$
p50	2.6	0.39	5.5	579610	1338250	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.39$
p51	3.2	0.31	5.9	579643	1338249	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.31$
p52	2.4	0.42	5.9	579647	1338298	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.42$
p53	2.4	0.42	6.5	579609	1338305	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.42$
p54	10	0.1	1.8	579575	1338304	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.1$
p55	2.9	0.35	4.9	579534	1338317	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.35$
p56	2.8	0.36	4.9	579500	1338320	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.36$
p57	6.7	0.15	5	579438	1338340	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.15$
p58	3.2	0.31	4.9	579364	1338345	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.31$
p59	3.3	0.3	4	579314	1338349	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p60	4.2	0.24	5.1	579254	1338355	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.24$
p61	6.3	0.16	5.8	579221	1338359	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.16$

p62	7.1	0.14	4.9	579195	1338363	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.14$
p63	5.9	0.17	4.9	579199	1338400	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.17$
p64	3.6	0.28	4.4	579230	1338394	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.28$
p65	6.3	0.16	4	579276	1338390	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.16$
p66	3.2	0.31	4.8	579319	1338381	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.31$
p67	4.0	0.25	4.8	579374	1338378	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.25$
p68	1.1	0.91	4	579438	1338369	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.91$
p69	2.5	0.4	4.9	579511	1338362	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p70	3.3	0.3	4.8	579538	1338353	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p71	2.9	0.35	5	579571	1338345	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.35$
p72	2.6	0.39	6	579614	1338351	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.39$
p73	2.0	0.51	5.7	579663	1338347	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.51$
p74	5.0	0.2	5.1	579209	1338451	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.2$
p75	5.9	0.17	4.5	579241	1338441	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.17$
p76	5.3	0.19	5	579275	1338445	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.19$
p77	3.6	0.28	4.9	579323	1338440	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.28$
p78	5.9	0.17	3	579389	1338433	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.17$
p79	3.6	0.28	4	579447	1338422	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.28$
p80	2.6	0.38	3.6	579512	1338409	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p81	2.9	0.35	3.5	579547	1338411	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.35$
p82	2.6	0.39	5	579582	1338402	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.39$
p83	2.6	0.39	6.8	579629	1338400	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.39$

p84	2.8	0.36	6.2	579671	1338395	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.36$
p85	5.0	0.2	5.5	579211	1338499	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.2$
p86	4.3	0.23	5	579249	1338492	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.23$
p87	5.6	0.18	4	579284	1338485	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.18$
p88	3.3	0.3	5	579335	1338475	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p89	3.4	0.29	4.1	579390	1338469	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.29$
p90	3.3	0.3	4	579453	1338455	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.3$
p91	4.3	0.23	5.9	579523	1338448	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.23$
p92	2.2	0.45	5.8	579581	1338441	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.45$
p93	4.3	0.23	6	579225	1338549	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.23$
p94	4.3	0.23	5	579257	1338533	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.23$
p95	4.3	0.23	5	579289	1338530	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.23$
p96	2.5	0.4	3.8	579333	1338523	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p97	2.2	0.46	3	579400	1338514	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.46$
p98	2.5	0.4	5	579473	1338491	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p99	2.6	0.38	4.9	579535	1338489	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.38$
p100	2.1	0.48	5	579587	1338484	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.48$
p101	2.5	0.4	4.8	579640	1338476	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$
p102	4.0	0.25	7.5	579229	1338619	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.25$
p103	2.9	0.34	4.7	579307	1338604	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.34$
p104	3.7	0.27	6.9	579358	1338598	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.27$
p105	3.4	0.29	3.9	579407	1338592	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.29$

p106	5.3	0.19	2.3	579492	1338575	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.19$
p107	2.1	0.48	4.9	579585	1338562	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.48$
p108	2.0	0.5	6.8	579647	1338557	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.5$
p109	2.5	0.4	7.9	579631	1338436	Hay efecto de sitio en $T_0 = 0.4$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION hace constar que:

LOPEZ VARGAS KATIA MASSIEL

Carne: 2011-36965 Turno Diurno Plan de Estudios 97 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es EGRESADO de la Carrera de INGENIERIA CIVIL.

Se extiende la presente CARTA DE EGRESADO, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los catorce días del mes de abril del año dos mil dieciseis.

Atentamente,

Dr. Francisco Efraín Chamorro Elandón
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION hace constar que:

MOSCOSO SANDOVAL KARINA DE LOS ANGELES

Carne: 2011-36793 Turno Diurno Plan de Estudios 97 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es EGRESADO de la Carrera de INGENIERIA CIVIL.

Se extiende la presente CARTA DE EGRESADO, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los doce días del mes de abril del año dos mil dieciseis.

Atentamente,



Dr. Francisco Efraín Chamorro, Riquelme
Secretario de Facultad



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

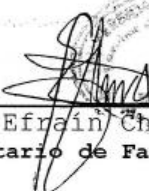
El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

GONZÁLEZ MARTINEZ ETHEL DEL SOCORRO

Carne: **2011-36945** Turno **Diurno** Plan de Estudios **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los catorce días del mes de abril del año dos mil dieciséis.

Atentamente,


Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARÍA DE FACULTAD

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2017

No. Recibo 74,328,328		No. Inscripción 369				
NOMBRES Y APELLIDOS: Katia Massiel López Vargas						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2011-36965		TURNO: Diurno		
PLAN DE ESTUDIO: 97		SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE 2017		FECHA: 22/02/2017		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1						
ULTIMA LINEA						
NO VALIDO SIN FIRMA Y SELLO						

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

NOTA: **NO VALIDA SIN FIRMA Y SELLO**
Pasar retirando Hoja de Matrícula en
Secretaría, presentando Recibo
Correspondiente

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 13-mar-2017



[Firma]
FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA DE FACULTAD

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2017

No. Recibo 74,352,270		No. Inscripción 669				
NOMBRES Y APELLIDOS :Karina De los Angeles Moscoso Sandoval						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2011-36793		TURNO: Diurno		
PLAN DE ESTUDIO: 97		SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE 2017		FECHA: 22/02/2017		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					
NO VALIDO SIN FIRMA Y SELLO						

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

NOTA: NO VALIDA SIN FIRMA Y SELLO

Pasar retirando Hoja de Matricula en
Secretaria, presentando Recibo
Correspondiente

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 22-feb-2017

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA DE FACULTAD

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2017

No. Recibo **74,383,288** No. Inscripción **574**
NOMBRES Y APELLIDOS: Ethel del Socorro González Martínez
CARRERA: INGENIERIA CIVIL CARNET: 2011-36945 TURNO: Diurno
PLAN DE ESTUDIO: 97 SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE 2017 FECHA: 22/02/2017

FORMA DE CULMINACION DE ESTUDIOS



F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

NOTA: NO VALIDA SIN FIRMA Y SELLO
Pasará retirando Hoja de Matricula en
Secretaría, presentando Recibo
Correspondiente

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 22-feb-2017


FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO